Bernoulli Resolve

Física

6V Volume 5

istockphoto.com

Sumário - Física

Módulo A

Módulo B

Módulo C

Módulo D

COMENTÁRIO E RESOLUÇÃO DE QUESTÕES

MÓDULO – A 09

Dinâmica do movimento circular

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Soma = 15

01. Verdadeiro. Período é efetivamente o tempo gasto para o móvel efetuar uma volta completa. Por isso, as equação de velocidade tangencial ($v=2\pi r/T$) e angular ($\omega=2\pi/T$) o apresentam, pois em uma volta completa o corpo percorre uma distância de $2\pi r$ e um ângulo de 2π.

02. Verdadeiro. A frequência é o número de voltas dadas em um certo intervalo de tempo. Sendo assim, $f=1/T$.

04. Verdadeiro. A distância percorrida em uma volta é $d=2\pi r$, exatamente o comprimento da circunferência. Como 2π é uma constante, d e r são diretamente proporcionais.

08. Verdadeiro. A força centrípeta é uma força que tem direção radial, perpendicular à velocidade e, por isso, altera apenas a direção desta. O seu módulo é dado por $F=mv^2/R$, e como estas grandezas se mantém constantes durante o MCU, o seu módulo é constante.

16. Falso. A aceleração centrípeta é dada por $a=v^2/R$, sendo, portanto, inversamente proporcional ao raio da trajetória.

Questão 02 – Letra B

Comentário: De acordo com a 1ª Lei de Newton, a força resultante que atua sobre um corpo é nula quando este se encontra em equilíbrio, ou seja, quando o corpo encontra-se em repouso ou em Movimento Retilíneo Uniforme. Na situação apresentada no exercício, o carrinho encontra-se em equilíbrio somente no trecho P, pois esse é o único trecho em que o vetor aceleração que atua sobre o carrinho é nulo. Logo, a força resultante só é nula no trecho P. Assim, a alternativa correta é a B.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Considerando que o carro se desloca com movimento uniforme, no alto da lombada, a força resultante que atua sobre o carro deve ser vertical e com sentido para baixo. Assim, nessa posição, o módulo da força peso P′ deve ser maior que o módulo da força normal N′, ou seja, P′ > N′. Já quando o carro se desloca horizontalmente, as forças peso $\overline{P}$ e normal $\overline{N}$ possuem módulos iguais; logo, P = N.

A força peso que atua sobre o carro é a força de atração gravitacional que a Terra exerce sobre ele. Essa força pode ser considerada constante na situação descrita no exercício; logo, P = P′. Assim, temos que N > N′, pois N = P = P′ > N′.

Dessa forma, a alternativa correta é a C.

Questão 04 – Letra B

Comentário: Em toda a trajetória, atuam na esfera apenas o peso e a tração. No ponto B, ambas são verticais e, portanto, não há resultante na horizontal. No entanto, na direção radial é necessária a existência de uma resultante, a força centrípeta, apontando para o a centro da trajetória (ou seja, para cima), já que o movimento é curvilíneo. Note que essa resultante é a diferença entre a tensão e o peso.

Questão 05 – Soma = 29

Comentário: Um movimento circular nunca pode ter resultante nula, essa força resultante será sempre diferente de zero e leva o nome de força centrípeta, que tem direção radial, sentido apontado para o centro da trajetória circular e pode ser encontrada por meio da equação $F_c = mv^2/R$.

O módulo da força centrípeta no avião pode ser encontrado pela decomposição da força F de sustentação, cuja componente horizontal (F.sen $\propto$) que aponta para o centro da curva é a resultante e possui o mesmo valor da força peso. Substituindo os valores abordados no enunciado, temos que: F_c = 100 000 N e v = 360 km/h.

Logo, as proposições corretas são 01, 04, 08 e 16.

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra B

Comentário: No ponto mais baixo da trajetória, as forças que atuam sobre o piloto são seu peso $\overline{P}$ (vertical, para baixo) e a força de reação normal $\overline{N}$ (vertical, para cima), que é a força que o assento do avião exerce sobre o piloto. A resultante dessas forças deve estar direcionada para cima, pois ela exerce a função de força centrípeta. O módulo da força de reação normal deve ser maior que o módulo do peso, dessa forma, o módulo da força que o assento do avião exerce sobre o piloto deve ser maior que o módulo do peso do piloto, como afirma a alternativa B.

Questão 04 – Letra A

Comentário: De acordo com o enunciado da questão, o trem se move a uma velocidade média de cruzeiro de 216 km/h (60 m/s) e o módulo da aceleração a que os passageiros são submetidos não pode exceder 0,05 g. Assim, considerando que o movimento do trem seja uniforme durante a realização da curva, o menor raio que uma curva dessa ferrovia pode ter é dado por:

$$a_{c_{Máx.}} = 0{,}05\,g = v^2/R \qquad R = 60^2/(0{,}05.10) \qquad R = 7{,}2 \times 10^3\ m$$

Esse resultado está expresso na alternativa A.

Questão 06 – Soma = 42

Comentário:

01. Falso. Considerando que os dois ciclistas percorram a pista juntos, os períodos de ambos são iguais e logo as velocidades angulares também.

02. Verdadeiro. Para o ciclista que corre na parte externa da pista não ficar para trás, seu período de rotação $T_B = 2pR_B/v_B$ deve ser maior ou igual ao período de rotação do ciclista que corre na parte interna da pista, $T_A = 2pR_A/v_A$, ou seja, para o caso de igualdade, os períodos são diretamente proporcionais aos raios das trajetórias.

04. Falso. Decompondo a normal, encontramos N.cos 45° = mg e N.sen 45° = mv^2/R (já que a componente radial da normal agirá como força centrípeta). Logo $v^2 = Rg \quad v = \sqrt{180}$.

08. Verdadeiro. Não há força resultante na direção tangencial, já que o módulo da velocidade é constante. No entanto, como o movimento é curvilíneo, há uma resultante na direção radial.

16. Falso. A força centrípeta é sempre perpendicular ao vetor deslocamento, portanto, é perpendicular à pista. A inclinação serve para que haja uma componente radial da normal, que atuará como força centrípeta.

32. Verdadeiro. O módulo do vetor deslocamento é dado pelo módulo do segmento formado entre a posição inicial e a final do deslocamento, que no caso são coincidentes. Logo, o módulo desse vetor é zero.

Questão 08 – Letra E

Comentário: Essa questão refere-se ao famoso pêndulo cônico. Nessa situação, as forças que atuam sobre a esfera são a tração, exercida pelo fio, e o peso. Deve-se enfatizar que a força centrípeta é a resultante da tração e do peso, e, sendo uma resultante, ela não deve ser representada no diagrama de corpo livre.

Questão 09 – Letra C

Comentário: Chamando de θ a inclinação da pista e decompondo a normal nos eixos radial e tangencial, teremos N.sen θ = mv^2/R e N.cos θ = mg. Disso tiramos que tg θ = v^2/Rg = 0,125 e θ = 7,15°.

Questão 11 – Letra A

Comentário: Como a aceleração centrípeta pode ser dada por a = v^2/R, e como ambos têm a mesma velocidade linear, a aceleração centrípeta de A é maior que a de B.

Questão 13 – Letra A

Comentário: Como a partícula está na iminência de perder contato com a pista, a força normal vale zero. Com o auxílio do diagrama de forças que atuam no corpo, temos que:

$$T.\text{sen}30° = mg, \quad T.\cos 30° = \frac{mv^2}{R}.$$

$$\text{Como } R = \ell\frac{\sqrt{3}}{2}, \text{ então } v = \sqrt{\frac{3}{2}g\ell}.$$

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: A força que puxa a garrafa para cima é a força de tração exercida pelo fio. Essa força desempenha também a função de força centrípeta no movimento do peso. Logo, podemos dizer que a força que atua sobre o peso e que produz o deslocamento vertical da garrafa é a força centrípeta, conforme apresentado na alternativa D.

Questão 02 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Considerando que os tempos de aceleração e desaceleração do trem sejam desprezíveis, comparados ao tempo da viagem, temos que a velocidade do trem no trajeto Rio-São Paulo é dada por:

$$v = \frac{d}{t} \quad v = \frac{403 \times 10^3}{85.60}$$

$$v = 80 \text{ m/s}$$

A aceleração lateral que atua sobre o trem e sobre os passageiros é a aceleração centrípeta. Logo, utilizando os dados fornecidos pelo enunciado e o módulo da velocidade do trem, podemos calcular o raio de curvatura mínimo que as curvas existentes no trajeto Rio-São Paulo devem possuir.

$$0{,}1g = \frac{v^2}{r} \quad r = \frac{v^2}{0{,}1g} \quad r = \frac{80^2}{0{,}1.10} \quad r = 6{,}4 \times 10^3 \text{ m}$$

Portanto, a alternativa correta é a E.

MÓDULO – A 10

Trabalho, potência e rendimento

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra B

Comentário: O trabalho realizado por uma força constante pode ser dado por

W = Fd.cos θ, em que θ é o ângulo entre a força e o vetor deslocamento. Em todos os casos, F e d são iguais, porém em z, θ = 0 e cos θ = 1, sendo máximo; já em x e y, os ângulos são iguais, mas maiores que zero, então cos θ < 1.

Questão 02 – Letra C

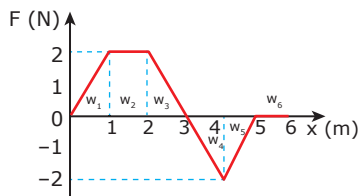
Comentário: Sabe-se que 8 litros de combustível equivalem a 8 000 cm^3 de combustível, assim, a massa de combustível será m = d.V = 5 400 g. Pela informação do calor de combustão, essa massa tem poder calorífico de 5,4 x 10^7 cal = 2,16 x 10^8 J = 2,16 x 10^5 kJ. Como P = E/t, e essa quantidade é produzida em uma hora, P_{total} = 60 kW. Logo, o rendimento r = P_{util}/P_{total} vale 40%.

Questão 03 – Letra E

Comentário: O trabalho realizado por uma força constante pode ser dado por

$W = F.d.\cos\theta$, em que θ é o ângulo entre a força e o vetor deslocamento. Nesse caso, como o peso é vertical e o deslocamento horizontal, $\theta = 90°$, $\cos\theta = 0$ e $W = 0$.

Questão 04 – Letra E

Comentário: O trabalho realizado pela força variável F sobre o bloco é numericamente igual à área sob a curva do gráfico da força F *versus* o deslocamento x.

Calculando o valor desse trabalho para o deslocamento do bloco da origem até o ponto x = 6,0 m, temos:

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6$$

$$W_T = \frac{1.2}{2} + 1.2 + \frac{1.2}{2} - \frac{1.2}{2} - \frac{1.2}{2} + 0$$

$$W_T = 2\,J$$

Questão 05 – Letra B

Comentário: De acordo com o gráfico do exercício, o pacote foi erguido com velocidade constante. Logo, a intensidade da força que a empilhadeira exerce sobre o pacote possui a mesma intensidade que o peso do pacote. Assim, o trabalho realizado pela empilhadeira pode ser determinado pela relação:

$$W = Fd \quad W = Ph = mgh \quad W = 120.10.6 \quad W = 7{,}2 \times 10^3\ J$$

A potência aplicada pela empilhadeira pode ser calculada por meio da razão entre o trabalho realizado por ela e o tempo gasto para realizar esse trabalho. Logo, a potência aplicada é dada por:

$$P_A = \frac{W}{t} \quad P_A = \frac{7{,}2 \times 10^3}{20} \quad P_A = 360\ W$$

Como o pacote foi erguido com velocidade constante, esse exercício também pode ser resolvido utilizando a seguinte relação:

$$P_A = \frac{W}{t} \quad P_A = \frac{Ph}{t} \quad P = mgv \quad P = 120.10.0{,}30 \quad P_A = 360\ W$$

No cálculo anterior, o valor da velocidade pode ser obtido a partir do gráfico, $v = \Delta h/\Delta t$.

Da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a B.

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra D

Comentário: O trabalho realizado por uma força constante pode ser dado por $W = F.d.\cos\theta$, em que θ é o ângulo entre a força e o vetor deslocamento. Sabendo que 1 tonelada equivale a 1 000 kg, a força resultante será dada pela diferença entre a força propulsora e o peso do foguete e vale $R = 4 \times 10^7$ N. Como $\theta = 0$, e cos 0 = 1, $W = 4 \times 10^7.2 \times 10^3 = 8{,}0 \times 10^{10}$ J.

Questão 03 – Letra B

Comentário: Como P = E/t, e a energia, nesse caso, é o trabalho realizado pela força, P = (F.d.cos 60°)/t. Substituindo os dados do enunciado, temos P = 50 W.

Questão 04 – Letra B

Comentário: A força que deslocará os 120 kg de óleo terá que ser maior ou igual ao peso deste, 1 200 N, e deverá realizar a tarefa em menos de 600 s. Logo, a potência será de P = W/t = Fd/t = 30 W.

Questão 05 – Letra D

Comentário: A força peso é uma força conservativa; portanto, o trabalho realizado por essa força depende apenas dos pontos inicial e final do deslocamento. A diferença de altura entre os pontos A e C, pontos inicial e final da trajetória do vagão, é h_2. Logo, o trabalho realizado pelo peso do vagão, no deslocamento do ponto A ao ponto C, é dado por:

$$W = -|P|h_2$$

Observe que esse trabalho é negativo, uma vez que a força peso atua no sentido oposto ao do deslocamento vertical do vagão.

A força normal exercida pelos trilhos sobre o vagão atua perpendicularmente à trajetória descrita por ele. Portanto, a força normal não realiza trabalho sobre o vagão.

Logo, a alternativa correta é a D.

Questão 07 – Letra D

Comentário: A prova categórica da afirmação correta necessitaria de argumentos de Cálculo Integral. No entanto, é um resultado conhecido do aluno que o trabalho da força peso depende apenas do módulo desta e da diferença de altura entre os pontos final e inicial, sendo igual, portanto, nos três casos.

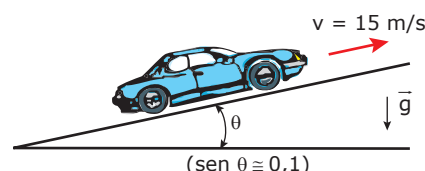
Questão 10 – Letra A

Comentário: Considerando que a roldana utilizada para auxiliar o cavalo a erguer o bloco de 75 kg na vertical seja fixa, temos que a força exercida pelo cavalo nessa tarefa é de 750 N. Tendo em vista o resultado anterior, temos que a potência despendida pelo cavalo é dada por:

$P = Fv \Rightarrow P = 750.1{,}0 \Rightarrow$

$P = 750\ W \Rightarrow$

$1\ cv = 7{,}5 \times 10^2\ W$

Como o carro sobe a ladeira com velocidade constante, temos que o módulo da força de propulsão exercida pelo motor do carro é igual ao módulo da componente $\vec{P}_x$ da força peso.

Sendo assim, temos que a potência útil desenvolvida pelo carro é dada por:

$P = P_x.v \Rightarrow P = mg.\text{sen}\,\theta.v \Rightarrow$

$P = 1\,000.10.0{,}1.15 \Rightarrow$

$P = 15 \times 10^3 \Rightarrow$

$P = 20\ cv$

Questão 11 – Letra E

Comentário: O trabalho gasto por essa pessoa é W = mgd = 80.10.450 = 360 kJ. Essa é a energia útil, e pela definição de rendimento, temos que a energia total gasta é de 360.4 = 1 440 kJ, equivalente a quatro porções de espaguete.

Questão 12 – Letra A

Comentário: Como o motor eleva o bloco com velocidade constante, temos que o módulo da força exercida pelo motor nessa tarefa é de 200 N. Tendo em vista esse resultado, temos que a potência útil desenvolvida pelo motor é de:

$P_{útil} = 200.2,0$

$P_{útil} = 400$ W

O rendimento η do motor é dado por:

$$\eta = \frac{P_{útil}}{P_{total}}$$

Logo, a potência total dissipada pelo motor é de:

$$0,80 = \frac{400}{P_{total}} \Rightarrow P_{total} = 500\ W$$

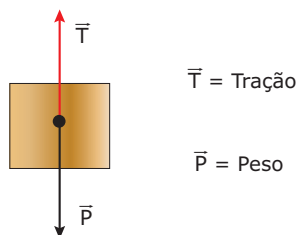
Esse resultado é mostrado na alternativa A.

Questão 13

Comentário:

A) As forças que atuam sobre o bloco são a força peso $\vec{P}$ e a força de tração $\vec{T}$.

$\vec{T}$ = Tração

$\vec{P}$ = Peso

B) O sistema utilizado pelo operário para elevar o bloco possui uma roldana móvel; logo, como os cabos que sustentam o bloco estão na direção vertical e ele é elevado com velocidade constante, as forças de tração no cabo possuem a metade da intensidade do peso do bloco. Sendo o módulo de peso do bloco igual a 1,0 x 10^3 N, conclui-se que o módulo da tração no cabo é de 5,0 x 10^2 N.

O trabalho realizado pelo operário para elevar o bloco até o segundo andar da obra pode ser calculado por:

$$W = Ph = mgh \qquad W = 100.10.5,0 \qquad W = 5,0 \times 10^3\ J$$

Esse trabalho também poderia ser calculado por meio do produto entre a intensidade da força realizada pelo operário e o deslocamento total do cabo. Porém, deve ser observado que o deslocamento total do cabo é igual ao dobro do deslocamento do bloco.

C) Como o bloco foi elevado até o segundo andar com velocidade constante, a potência desenvolvida pelo operário nesse trabalho foi constante. O valor dessa potência é dado por:

$$P = \frac{W}{t} \qquad P = \frac{5,0 \times 10^3}{10} \qquad P = 5,0 \times 10^2\ W$$

Questão 14

Comentário: A questão envolve cálculo de áreas para determinar o trabalho (W = área do gráfico F × d).

A) W_{F_1} = área do trapézio entre 0 e 10 m

$W_{F_1} = (20 + 60).10/2 = 400\ J \Rightarrow W_{F_1} = 400\ J$

B) W_{F_A} = –(área do triângulo entre 0 e 10 m)

$W_{F_A} = –20.10/2 = –100\ J \Rightarrow W_{F_A} = –100\ J$

C) W_{F_1} = área do trapézio entre 10 e 15 m

$W_{F_A} = (60 + 80).5/2 = 350\ J \Rightarrow W_{F_1} = 350\ J$

W_{F_A} = –(área do triângulo entre 10 e 15 m)

$W_{F_A} = –20.5/2 = –50\ J \Rightarrow W_{F_A} = –50\ J$

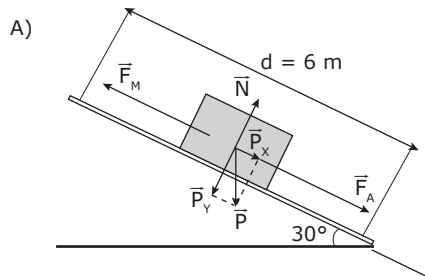
$W_{F_R} = \Sigma$ (todos os trabalhos)

$W_{F_A} = 400 + 350 – 100 – 50 = 600\ J \Rightarrow W_{FR} = 600\ J$

Observação: Não é possível achar a F_R e usar $W = F_Rd$, pois as forças são variáveis.

Questão 15

Comentário: A questão envolve as Leis de Newton, o trabalho e a potência de forças constantes. Veja as forças que atuam no bloco durante seu deslocamento na figura a seguir (d = 6 m). Como a velocidade é constante, a potência (P_M) do motor é constante e toda ela é usada no movimento do bloco.

A)

$P_M = F_M.v \Rightarrow F_M = P_M/v = 2\ 100/3 \Rightarrow F_M = 700$ N

O peso ($\vec{P}$) do bloco foi decomposto em componentes.

O módulo de P_X pode ser calculado por:

P_X = P.sen 30° = 800.0,50 = 400 N

v = constante $\Rightarrow$ R = 0 $\Rightarrow F_M = P_X + F_A$

$F_A = F_M – P_X = 700 – 400 \Rightarrow F_A = 300$ N

B) W = Fd

$W_N = W_{P_Y} = 0$ (formam ângulos de 90° com o deslocamento).

$W_{P_X} = –P_Xd = –400.6 = –2\ 400$ J

$W_P = W_{P_X} + W_{P_Y} = –2\ 400 + 0 \Rightarrow W_P = –2\ 400$ J

$W_A = –F_Ad = –300.6 = –1\ 800\ J \Rightarrow W_A = –1\ 800$ J

$W_M = +F_Md = +700.6 = 4\ 200\ J \Rightarrow W_M = 4\ 200$ J

Seção Enem

Questão 01 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: A eficiência da lâmpada incandescente de 40 W será:

$$\eta_{I,40} = \frac{600}{40} = 15\ lm/W$$

Vamos analisar as eficiências das lâmpadas apresentadas nas alternativas, lembrando que a quantidade de luz produzida pode ser obtida por uma regra de 3 simples a partir das informações no enunciado.

A) Lâmpada fluorescente de 8 W:

40 W → 3 000 lm

8 W → x

x = 600 lm

Portanto:

$$\eta_{F,8} = \frac{600}{8} = 75\ lm/W$$

Como a alternativa afirma que o rendimento da lâmpada incandescente de 40 W é maior que o encontrado anteriormente, ela é incorreta.

B) Para verificar essa alternativa, não precisamos fazer o cálculo da quantidade de luz, visto que ela já foi informada no enunciado (3 000 lm). Portanto:

$$\eta_{F,40} = \frac{3\,000}{40} = 75\ lm/W$$

Mais uma vez, como a alternativa afirma que o rendimento da lâmpada incandescente de 40 W é maior que o encontrado anteriormente, ela é incorreta.

C) A alternativa afirma que estamos comparando a lâmpada incandescente de 40 W com uma fluorescente de 8 W, sendo que ambas produzem a mesma quantidade de luz. Assim:

$$\eta_{F,8} = \frac{600}{8} = 75\ lm/W$$

De fato o rendimento da lâmpada incandescente de 40 W é menor que o encontrado, de forma que essa alternativa é correta.

D) Para analisar essa alternativa, não precisamos fazer cálculo algum, basta perceber que ela diz que a lâmpada fluorescente de 40 W consome menos energia que a lâmpada incandescente de mesma potência. Se as potências são iguais, o consumo de energia de ambas também é igual. Portanto, essa alternativa é incorreta.

E) Como calculado anteriormente, $\eta_{F,40} = 75\ lm/W$. Como a alternativa afirma que esse rendimento é igual ao da lâmpada incandescente de 40 W, ela está incorreta.

Questão 02 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 23

Comentário: De acordo com o enunciado do exercício, a potência da usina é de 512 x 10^6 W, ou seja, a usina pode fornecer 512 x 10^6 J de energia elétrica a cada segundo. Logo, como a eficiência da usina é de 90%, conclui-se que, para gerar essa energia elétrica, a usina necessita de uma quantidade de energia dada por:

$$\varepsilon = \frac{E_{El}}{E_T} \quad E_T = \frac{E_{El}}{\varepsilon} \quad E_T = \frac{512 \times 10^6}{0,90} \quad E_T = 569 \times 10^6\ J$$

A fonte de energia utilizada pela usina para gerar energia elétrica é a energia potencial gravitacional da água. Dessa forma, conclui-se que a quantidade de água necessária para fornecer essa quantidade de energia à usina é de:

$$E_T = E_p \quad E_T = mgh \quad 569 \times 10^6 = m.10.120$$

$$m = 474 \times 10^3\ kg$$

Portanto, a usina necessita de uma vazão 474 x 10^3 kg de água por segundo para gerar a potência de 512 x 10^6 W. Sendo a densidade da água igual a 1,0 kg/L, conclui-se que a usina necessita de uma vazão de água de 474 x 10^3 L/s.

Como o exercício pediu apenas a ordem de grandeza da vazão de água, a alternativa correta é a E.

Questão 03 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: Observando o gráfico da questão, podemos concluir que a ordem crescente dos fogões, em eficiência, é a seguinte:

fogões elétricos;

fogões a gás;

fogões a querosene;

fogões a carvão;

fogões a lenha.

Ainda a partir da observação do gráfico, podemos concluir que a eficiência dos fogões a gás (~56%) é o dobro da eficiência dos fogões a lenha. Portanto, a alternativa correta é a C.

MÓDULO – B 09

Leis de Kepler

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra C

Comentário:

I. Falso. Nos sistemas gregos, de forma geral, a Terra era o centro do Universo, e não a Lua, com todos os astros girando ao seu redor.

II. Verdadeiro. No sistema planetário de Ptolomeu, a Terra se encontrava no centro do Universo, com os planetas movendo-se em círculos ao seu redor. O Sol e a Lua também rodavam em torno da Terra.

III. Verdadeiro. No sistema planetário de Copérnico, o Sol se encontrava fixo no centro do Universo, enquanto os planetas, incluindo a Terra (agora rebaixada para a categoria de planeta), moviam-se em círculos ao redor do Sol. Copérnico percebeu que a Lua girava em volta da Terra e que a Terra girava em torno de si mesma, proporcionado a alternância do dia e da noite e o movimento aparente circular das estrelas em torno do eixo polar da Terra.

IV. Verdadeiro. A 1ª Lei de Kepler postula que os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol, que ocupa um dos focos da elipse.

Questão 02 – Letra C

Comentário:

1. A Segunda Lei de Kepler nos mostra que a velocidade em pontos da órbita mais distantes do Sol é menor que em pontos mas próximos. Isso pode ser observado também pela conservação de energia mecânica da Terra.

2. A Terceira Lei de Newton nos garante isso.

Questão 03 – Letra D

Comentário: De acordo com a 3ª Lei de Kepler, os quocientes entre o quadrado do período de revolução e o cubo do raio orbital dos satélites A e B são iguais:

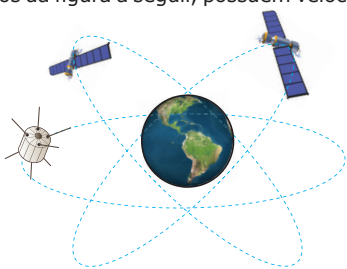
$$\frac{T_B^2}{R_B^3} = \frac{T_A^2}{R_A^3} \qquad \frac{T_B^2}{(4R)^3} = \frac{n^2}{R^3}$$

$$T_B = \frac{\sqrt{64R^2n^2}}{R^3} = \sqrt{64n^2} = 8n \text{ dias}$$

Questão 04 – Letra D

Comentário: O módulo da velocidade orbital de um satélite é dado por:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

G é a constante de gravitação universal, M é a massa da Terra (do astro central), e r é o raio orbital. Os parâmetros G e M são, portanto, constantes para qualquer satélite em órbita em torno da Terra. Assim, satélites que apresentam raios orbitais iguais, como os da figura a seguir, possuem velocidades iguais.

A) O período de um satélite depende do raio orbital, de acordo com a 3ª Lei de Kepler.

E) A força centrípeta no satélite depende da massa da Terra, da massa do próprio satélite e da distância Terra-satélite, de acordo com a Lei de Newton da Gravitação.

Questão 05

Comentário:

A) O intervalo de tempo para a luz percorrer a distância do Sol a um planeta é dado por $\Delta t = d/c$, em que d é a distância entre o Sol e o planeta, e c é a velocidade da luz. Substituindo, nessa equação, os valores dados no exercício, achamos:

$t_T = 1,5 \times 10^{11}/3,0 \times 10^8 = 5,0 \times 10^2$ s $= 8,3$ minutos

$t_P = 60 \times 10^{11}/3,0 \times 10^8 = 2,0 \times 10^4$ s $= 333$ minutos

B) Aplicando a 3ª Lei de Kepler, obtemos (observando que $R_P = 40R_T$, e que $T_T = 1$ ano):

$$\frac{R_P^3}{T_P^2} = \frac{R_T^3}{T_T^2} \qquad \frac{(40R_T)^3}{T_P^2} = \frac{R_T^3}{1^2} \qquad T_P = 80\sqrt{10} \cong 80.3,2 \cong 256 \text{ anos}$$

Exercícios Propostos

Questão 03 – Letra C

Comentário: De acordo com a 2ª Lei de Kepler, os intervalos de tempo decorridos nos trajetos AB, BC e CD são iguais, pois as áreas S_1, S_2 e S_3, correspondentes a tais trajetos, são iguais. Como o intervalo de tempo no primeiro trajeto vale 3 meses, os intervalos de tempo dos outros dois trajetos também valem 3 meses, de forma que o tempo para o planeta completar uma volta em torno Sol (ano do planeta) é igual a 9 meses. Esse tempo é 3/4 do ano terrestre (12 meses), conforme expresso na alternativa C.

Questão 05 – Letra A

Comentário: De acordo com a 3ª Lei de Kepler, a razão entre o quadrado do período e o cubo do raio orbital dos planetas é constante. Assim, temos:

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} \qquad \frac{32^2}{1^3} = \frac{256^2}{r_2^3} \qquad r_2 = 4 \text{ unidades}$$

Questão 08 – Letra E

Comentário: Na 3ª Lei de Kepler, a razão entre o quadrado do período (T^2) e o cubo do raio orbital (R^3) é constante e não depende da massa do corpo em órbita. Newton mostrou que essa constante depende da massa do corpo central e da constante de gravitação universal. Por isso, mesmo que a massa de um satélite se torne maior, nada ocorrerá com R, desde que T não seja alterado, e vice-versa. Assim, por exemplo, ainda que uma grande colônia terrestre seja instalada na superfície da Lua, o nosso satélite continuará levando os mesmos 28 dias para completar uma volta em torno da Terra.

Questão 09 – Letra B

Comentário: Com a diminuição do raio médio da órbita da Terra, a Terceira Lei de Kepler nos garante que a nova órbita terá menor período. A aplicação numérica dessa Lei, levando-se em conta que o período original da órbita lunar é de 28 dias, nos leva a concluir que o raio médio dobrou.

Questão 10 – Letra A

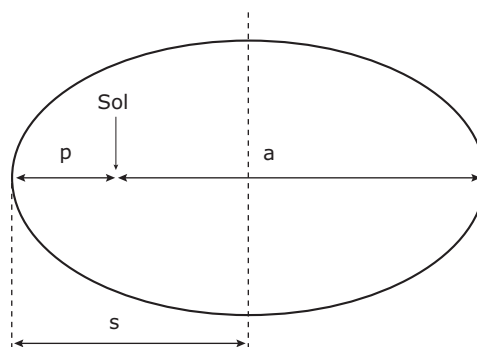
Comentário: Aplicando a 3ª Lei de Kepler, obtemos:

$$\frac{R_U^3}{T_U^2} = \frac{R_T^3}{T_T^2} \qquad \frac{(2,90 \times 10^{12})^3}{T_U^2} = \frac{(1,50 \times 10^{11})^3}{1^2} \qquad T_U = 85 \text{ anos}$$

O cálculo anterior é difícil de ser feito sem o auxílio de uma calculadora. Porém, podemos achar a resposta mais facilmente por meio de um cálculo aproximado. Se arredondarmos o valor 2,9 para 3, obtemos facilmente que $T_U = 40\sqrt{5}$. Considerando $\sqrt{5} = 2$, encontramos $T_U = 80$ anos, que é bem próximo de 85 anos, resultado apresentado na alternativa A.

Questão 11 – Letra C

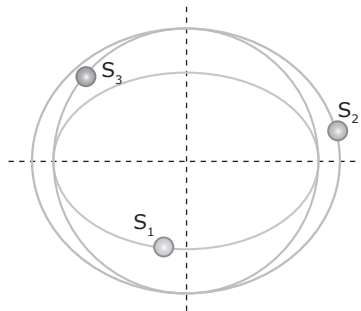
Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente:

I. Falso. Pela 3ª Lei de Kepler, o cubo do raio orbital médio (R) é que é proporcional ao quadrado do período (T), e não o contrário. Em tal lei, podemos usar, em vez do raio orbital médio, o semieixo maior da elipse (s). O raio médio é dado por r = (p + a)/2, em que p e a são as distâncias do planeta ao Sol para as posições de menor e de maior aproximação em relação ao Sol (periélio e afélio). Analisando a figura a seguir, é fácil ver que o raio médio é realmente igual ao semieixo maior.

II. Verdadeiro. Esse é o enunciado da 2ª Lei de Kepler.

III. Falso. A 1ª Lei de Kepler afirma que os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol, e este ocupa um dos focos da elipse, e não o centro, como dito na assertiva.

IV. Falso. Há dois erros na frase em questão. O primeiro é que a força gravitacional é sempre de atração, e não de repulsão. O outro erro é que a 3ª Lei de Kepler é uma expressão cinemática, que envolve tempo e distância (o período e o raio orbital médio dos planetas). Essa lei não aborda aspectos dinâmicos do problema, como a relação entre a força de atração gravitacional entre um planeta e o Sol.

Questão 12 – Letra D

Comentário: De acordo com as informações do exercício, as órbitas dos satélites S_1, S_2 e S_3 podem ser representadas pela figura a seguir. Pela 3ª Lei de Kepler, temos $T = \text{constante}.\sqrt{R^3}$, em que T é o período, e R é o raio orbital médio do satélite. R é também o semieixo maior da órbita elíptica, pois $R = (p + a)/2$, em que p e a são as distâncias do periélio e do afélio ao Sol. Assim, como os satélites S_1 e S_3 apresentam R iguais, eles também apresentam T iguais. Além disso, os períodos desses satélites são menores do que o período do satélite S_2, pois ele apresenta maior R que S_1 e S_3. Em resumo, $T_1 = T_3 < T_2$, pois $R_1 = R_3 < R_2$.

Questão 13

Comentário:

A) De acordo com a 2ª Lei de Kepler, o raio vetor de um planeta "varre" áreas iguais em tempos iguais. Por isso, quando o planeta está no periélio (P), o raio vetor é mínimo, e a velocidade do planeta é máxima. Ao contrário, quando o planeta está no afélio (A), o raio vetor é máximo, e a velocidade é mínima.

B) Como as áreas varridas nos deslocamentos PIA e AVP são iguais, concluímos que os tempos desses deslocamentos também são iguais. A área varrida no deslocamento VPI é a menor dos quatro deslocamentos apresentados, de forma que o tempo desse deslocamento é o menor dos quatro. Ao contrário, a área IAV é a maior, e o tempo desse deslocamento é o maior de todos.

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: O sistema planetário de Copérnico permitiu explicar todas as trajetórias dos planetas observadas da Terra, inclusive o movimento retrógrado de Marte. Como a Terra está mais próxima do Sol que o planeta Marte, a velocidade de translação da Terra é maior que a velocidade de Marte. Por isso, durante certa época de sua órbita, a Terra acaba por ultrapassar o planeta Marte, de modo que temos a impressão de que o planeta Marte se move no sentido oposto logo depois que ele é ultrapassado. Algo semelhante acontece quando dois carros se movem no mesmo sentido e com velocidades diferentes. Se o carro que vem atrás for o mais rápido, depois que ele ultrapassar o carro da frente, os ocupantes do carro mais veloz verão o carro mais lento ficando para trás.

Questão 02 – Letra E

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 1

Habilidade: 3

Comentário: Ptolomeu teve o mérito de propor um dos primeiros modelos para o movimento dos planetas, o sistema geocêntrico. Copérnico, muito tempo depois, apresentou um modelo mais adequado para a descrição do movimento dos planetas, o sistema heliocêntrico. As ideias de Copérnico, em sua época, foram muito combatidas, pois, além de serem revolucionárias, iam contra os ensinamentos da Igreja, que pregava a Terra como o centro do Universo. Kepler propôs três leis de movimento para os planetas do Sistema Solar. Em essência, essas leis são empíricas e não constituem uma teoria. Mais tarde, Newton propôs a Teoria da Gravitação. Essa teoria é que permitiu a generalização das Leis de Kepler. A alternativa que responde corretamente à questão é, portanto, a E.

Questão 03 – Letra C

Eixo cognitivo: IV

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: O texto do dramaturgo renascentista Shakespeare exalta o Sol como o centro do Universo "[...] o glorioso astro Sol está em nobre eminência entronizado e centralizado no meio dos outros [...]". Dessa forma, o texto faz referência às ideias heliocêntricas de Copérnico, que também era renascentista. Portanto, a alternativa C é a correta.

Questão 04 – Letra B

Eixo cognitivo: III

Competência da área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Segundo a 3ª Lei de Kepler, quanto mais distante, maior é o período de um satélite ($T^2 \propto R^3$). Assim, Calisto deve ser o satélite mais distante (satélite 4), pois apresenta o maior período de todos (16,7 dias). Usando o mesmo critério, na sequência, o mais distante é Ganimedes (satélite 1), depois Europa (satélite 3) e, finalmente, Io (satélite 2), que apresenta o menor período de todos.

MÓDULO – B 10

Lei da Gravitação Universal

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra C

Comentário: A força de atração gravitacional da Terra sobre um satélite é proporcional ao produto das massas da Terra e do satélite e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre esses corpos. Como os satélites I e II estão equidistantes da Terra, as suas massas é que definirão qual deles sofre a força de maior intensidade. Como a massa do satélite II é o dobro da massa do satélite I, concluímos que o módulo da força no satélite II é o dobro do módulo da força no satélite I. Quanto ao satélite III, ele sofre a força de maior módulo de todos, pois, sendo a sua massa o dobro da massa do satélite I e a mesma do satélite II, mas estando à metade da distância ao Sol do que os outros dois, o módulo da força no satélite III é o quádruplo do módulo da força sobre o satélite II e o óctuplo do módulo da força sobre o satélite I. Portanto, $F_I < F_{II} < F_{III}$.

Questão 02 – Letra B

Comentário: De acordo com a Lei da Gravitação Universal, a força de atração ente a Terra, de massa M, e a Lua, de massa m, distanciadas de r, é:

$$F = G\frac{Mm}{r^2}$$

Se a massa da Terra aumentar para 9M e a distância aumentar para r’, a nova força de atração entre a Terra e a Lua será:

$$F' = G\frac{9Mm}{(r')^2}$$

Igualando F’ e F, obtemos a distância r’ desejada:

$$G\frac{9Mm}{(r')^2} = G\frac{9Mm}{r^2} \qquad (r')^2 = 9r^2 = r' = 3r$$

Portanto, se a massa da Terra ficasse 9 vezes maior, a distância da Terra à Lua deveria triplicar para que a atração entre elas não se alterasse.

Questão 03 – Letra C

Comentário: A aceleração centrípeta no satélite nada mais é do que a aceleração da gravidade que a Terra exerce no satélite. Essa aceleração é dada por:

$$g = \frac{Gm}{r^2}$$

em que M é a massa da Terra e r é a distância do centro do planeta até o ponto onde a aceleração da gravidade está sendo calculada. Assim, para r = R (o raio da Terra), g é a aceleração da gravidade na superfície da Terra:

$$g_{sup} = \frac{Gm}{R^2}$$

Na posição onde o satélite se encontra, a aceleração da gravidade é:

$$g_{sat} = -\frac{GM}{R^2}$$

Como $g_{sat} = g_{sup}/10$, então:

$$\frac{GM}{r^2} = \frac{1}{10}\frac{GM}{R^2} \qquad r = \sqrt{10R^2} = 3,2R$$

Logo, a altitude do satélite é h = 3,2R – R = 2,2R. Substituindo R = 6,4 x 10^6 m, obtemos h = 1,4 x 10^7 m.

Questão 04 – Letra E

Comentário: Um satélite estacionário gira em torno da Terra a uma altitude de cerca de 6 raios terrestres. Nessa altura, o período do satélite é 24 h, valor que pode ser calculado pela da Lei da Gravitação Universal de Newton. Se o plano da órbita for o plano equatorial da Terra, e, ainda, se o sentido de rotação do satélite for o mesmo da rotação da Terra em torno de si, então teremos uma órbita estacionária. Em outras palavras, o satélite se move mantendo sempre a mesma posição em relação a qualquer ponto da Terra. Por exemplo, se o satélite está sobre Macapá (cidade brasileira que se acha na Linha do Equador), assim permanecerá à medida que ele e a própria Terra girarem. A força de atração sobre o satélite estacionário (e também sobre satélites estáveis não estacionários) faz o papel da força centrípeta. Essa força é necessária para manter a órbita do satélite em torno da Terra.

Conclui-se, da discussão anterior, que a alternativa correta é a E.

Questão 05 – Letra C

Comentário: Como a gravidade é baixa, o sangue apresenta um peso muito baixo, de modo que não está mais sujeito a uma força para baixo. Logo, fica mais fácil para o sangue chegar ao cérebro.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra C

Comentário: Embora as três Leis de Kepler tenham sido estabelecidas para as órbitas dos planetas em volta do Sol, Newton mostrou, por meio da sua Lei da Gravitação Universal, que essas leis nada mais são do que consequências dessa última. Sendo universal, a Lei da Gravitação de Newton e, por conseguinte, as Leis de Kepler aplicam-se a todos os movimentos de astros e até mesmo para satélites artificiais que giram em volta de um planeta, ou para uma nave que órbita em volta do Sol.

Questão 02 – Letra B

Comentário: Se as acelerações da gravidade na Terra (massa M_T, raio R_T e densidade ρ_T) e no planeta do Pequeno Príncipe (massa M_P, raio R_P e densidade ρ_P) são iguais, então:

$$\frac{\cancel{G}M_T}{R_T^2} = \frac{\cancel{G}M_P}{R_P^2} \qquad \frac{M_T}{R_T^2} = \frac{M_P}{R_P^2} \qquad \frac{R_T M_T}{R_T^3} = \frac{R_P M_P}{R_P^3}$$

Como a densidade ρ de uma esfera é proporcional à razão entre a massa da esfera e o cubo do raio, temos:

$$R_T\rho_T = R_P\rho_P$$

Substituindo R_T por 10^6 R_P (o raio da Terra é um milhão de vezes maior que o raio do planeta do Pequeno Príncipe), obtemos:

$$10^6\, R_P\rho_P = R_P\rho_P \qquad \rho_P \,/\, \rho_T = 10^6$$

Questão 03 – Letra D

Comentário: Inicialmente, deve-se determinar o módulo da aceleração da gravidade na “superfície” de Júpiter (na verdade, essa superfície é gasosa, de modo que uma nave não encontraria apoio para pousar sobre ela). O módulo dessa aceleração é dado por:

$$g_J = \frac{GM_J}{R_J^2}$$

Em que G é a constante de gravitação universal, e M_J e R_J são a massa e o raio de Júpiter, respectivamente. De acordo com os dados fornecidos no exercício, temos M_J = 320M_T e R_J = 11R_T, sendo M_T e R_T a massa e o raio da Terra. Substituindo essas relações na equação anterior, obtemos:

$$g_J = \frac{G.320M_T}{(11R_T)^2} = 2,64\frac{GM_T}{R_T^2}$$

A fração que aparece no final dessa expressão é a intensidade da aceleração da gravidade na superfície da Terra. Portanto, a intensidade da aceleração da gravidade em Júpiter é 2,64 vezes maior do que a intensidade da aceleração da gravidade terrestre. Assim, um corpo que pesa 1 200 N na Terra pesará, em Júpiter, 3 168 N (1 200 x 2,64). Arredondando esse resultado, uma resposta mais adequada para esse exercício seria 3,2 x 10^3 N, e não o valor de 3 200 N apresentado na letra D.

Questão 05 – Letra E

Comentário: Vamos analisar as três proposições separadamente:

04. Verdadeiro. A massa de cada estrela vale M e a distância entre elas é igual a R. Assim, aplicando a Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton, obtemos o módulo da força de atração entre elas:

$$F = \frac{GMM}{(2R)^2} = \frac{GM^2}{4R^2}$$

08. Falso. A força calculada anteriormente faz o papel da força centrípeta necessária para garantir o movimento circular de cada uma das estrelas. Igualando essa força com a equação da força centrípeta, obtemos a intensidade da velocidade orbital de cada estrela:

$$F_C = F \quad \frac{Mv^2}{R} = \frac{GM^2}{4R^2} \quad v = \sqrt{\frac{GM}{4R}}$$

12. Verdadeiro. O período de cada estrela pode ser obtido substituindo a expressão cinemática da velocidade tangencial na expressão obtida anteriormente:

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \sqrt{\frac{GM}{4R}} \quad T = 4\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$$

Da análise anterior, conclui-se que os itens 4 e 12 são verdadeiros. Logo, a alternativa correta é a E, pois traz como resultado a soma 16.

Questão 06 – Letra C

Comentário: O módulo da aceleração da gravidade a uma altura h da superfície da Terra é dado por:

$$g = \frac{GM}{(R+h)^2}$$

Em que G é a constante de gravitação universal, e M e R são a massa e o raio da Terra, respectivamente. Na superfície da Terra, temos h = 0, e a aceleração da gravidade vale:

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

Para uma altitude igual a 5% do raio da Terra, temos h = 0,05R. Substituindo esse valor na equação anterior, obtemos:

$$g' = \frac{GM}{(R+0,05R)^2} = \frac{GM}{(1,05R)^2} = 0,907\frac{GM}{R^2} = 0,907g$$

Portanto, g' é cerca de 90% da aceleração na superfície, como apresentado na alternativa C.

Questão 07 – Letra B

Comentário: Vamos resolver o exercício aplicando a Lei da Gravitação Universal para as posições P e A:

$$F_P = \frac{GMm}{R_P^2} \text{ e } F_A = \frac{GMm}{R_A^2}$$

Dividindo membro a membro essas equações, obtemos:

$$\frac{F_P}{F_A} = \frac{R_A^2}{R_P^2}$$

Substituindo F_P/F_A = 2,3 (valor dado na questão), obtemos:

$$2,3 = \frac{R_A^2}{R_P^2} \quad \frac{R_P}{R_A} = \sqrt{\frac{1}{2,3}} = 0,66\,g$$

Esse resultado é mostrado na alternativa B.

Questão 08 – Letra C

Comentário: Primeiramente, vamos determinar a relação entre g_a e g_T, que são os módulos das acelerações da gravidade no planeta Alfa e na Terra, respectivamente. O período de um pêndulo simples é inversamente proporcional à raiz quadrada da aceleração da gravidade do planeta ($T = 2\pi\sqrt{L/g}$). Portanto, como o período do pêndulo no planeta Alfa é o dobro do período do pêndulo na Terra, concluímos que $g_a = g_T/4$.

Em seguida, vamos encontrar a relação entre R_a e R_T, os raios dos dois planetas. A intensidade da aceleração centrípeta, devido à rotação de cada planeta em torno do seu eixo, é dada por $a = (4\pi^2/T^2)R$. De acordo com os dados, o dia em Alfa é 1/3 do dia terrestre: $T_a = T_T/3$. Além disso, $a_a = 18a_T$. Substituindo essas informações na equação da aceleração centrípeta, obtemos $R_a = 2R_T$.

Finalmente, como a aceleração da gravidade na superfície de um planeta vale $g = GM/R^2$, podemos escrever a seguinte relação:

$$GM_a/(2R_T)^2 = (GM_T/R_T^2)/4 \Rightarrow M_a = M_T$$

Portanto, a alternativa correta é a C.

Questão 09 – Letra A

Comentário: Aplicando a equação para o cálculo da força gravitacional, $F = GMm/d^2$, e como $P = mg$, temos que $g = GM/d^2$. Substituindo os dados do enunciado, encontramos que $g \cong 8,7$ m/s².

Questão 10 – Letra D

Comentário: Supondo que a Terra continue na sua órbita original, isto é, que a distância R entre ela e o Sol não se altere, então a velocidade orbital da Terra deverá aumentar, pois a força centrípeta F_C sobre a Terra, que é a atração gravitacional do Sol, terá dobrado de valor com a duplicação da massa solar. Como o módulo da força centrípeta é proporcional ao quadrado da velocidade v ($F_C = mv^2/R$, sendo m a massa da Terra), essa velocidade é proporcional à raiz quadrada da força centrípeta; logo, $v' = \sqrt{2}v$. Como a velocidade é inversamente proporcional ao tempo de percurso, concluímos que o período orbital fica multiplicado por $T' = (1/\sqrt{2})T$.

Questão 12 – Letra C

Comentário: Todos os satélites estacionários giram em torno da Terra em uma órbita contida no plano do Equador e a uma altura (que não depende de suas massas) tal que o período do satélite seja igual ao próprio período de rotação da Terra, isto é, 24 horas. Além disso, o sentido do movimento desses satélites deve ser igual ao da Terra.

Dedução da altura de um satélite estacionário:

As velocidades angulares de um satélite estacionário e da Terra são iguais. Usando a constância dessas velocidades, podemos achar o raio orbital R de um satélite estacionário. O módulo da velocidade angular do satélite é dado por:

$$\omega = \frac{v}{R} = \sqrt{\frac{GM}{R^3}}$$

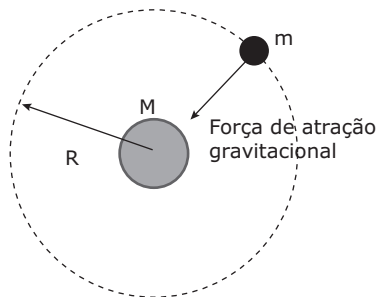
Em que $G = 6,67 \times 10^{-11}$ N.m²/kg² e $M = 6,0 \times 10^{24}$ kg são a constante de gravitação universal e a massa da Terra, respectivamente. O módulo da velocidade angular da Terra é dado por $\omega = 2\pi/T$. Substituindo T = 24 h = 86 400 s, achamos $\omega = 7,27 \times 10^{-5}$ rad/s. Substituindo esse valor na equação anterior, achamos o valor de R:

$$7,27 \times 10^{-5} = \sqrt{\frac{6,67 \times 10^{-11}.6,0 \times 10^{24}}{R_T^3}} \Rightarrow R = 42 \times 10^6 \text{ m}$$

Esse valor é cerca de 7 vezes o raio da Terra ($R_T = 6,4 \times 10^6$ m) e, portanto, p se posiciona a uma altura de, aproximadamente, $6R_T$.

Questão 15

Comentário:

A)

B) O módulo da força de atração gravitacional faz o papel da força centrípeta que mantém o satélite em órbita. Igualando a equação da força centrípeta ($m\omega^2/R$) com a equação da força gravitacional (GMm/R^2), obtemos:

$$m\omega^2R = GMm/R^2 \Rightarrow \omega = \sqrt{GM/R^3}$$

Questão 16

Comentário:

A) O tempo de queda da pedra é dado por:

$$t = \sqrt{2h/g} = \sqrt{2.1,25/1,6} = 1,25 \text{ s}$$

Então, a velocidade horizontal do lançamento, que se manteve constante durante a queda (na Lua, como não há atmosfera, não há resistência do ar), é dada por:

$$v = d/t = 15/1,25 = 12 \text{ m/s}$$

B) O módulo da velocidade orbital é dado por:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{\frac{GM}{R^2}}R$$

Em que R é o raio da Lua, pois a órbita é rasante à superfície do astro. A fração dentro da raiz quadrada (GM/R^2) é a aceleração da gravidade na Lua. Assim, temos:

$$v = \sqrt{1,6.1,6 \times 10^6} = 1,6 \times 10^3 \text{ m/s}$$

Questão 17

Comentário:

1. P.

A aceleração é máxima quando a força resultante é máxima: $\vec{F}_R = m.\vec{a}$.

A força resultante é a força gravitacional que o Sol exerce sobre o cometa:

$$F_R = \frac{G.M_{Sol}.m_{cometa}}{r^2}$$

Portanto, onde a distância R entre o cometa e o Sol for menor, a força resultante e a aceleração serão maiores.

2. Não.

A quantidade de movimento depende da velocidade.

$\vec{Q} = m.\vec{v}$

Como a velocidade do cometa muda continuamente de direção e intensidade, a quantidade de movimento não se conserva.

Seção Enem

Questão 01 – Letra E

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Sobre as opções A e B:

De acordo com a Lei da Gravidade de Newton, podemos avaliar que a intensidade da força da Terra sobre uma maçã é algo perto de 1 N, enquanto a força do Sol sobre um planeta, mesmo que muito distante, é gigantesca, pois as massas do planeta e do Sol, que devem ser levadas em conta nos cálculos, são muito grandes.

Sobre as opções C e D:

Não existe conexão entre a força da Terra sobre uma maçã e a força do Sol sobre um planeta. A primeira é voltada para o centro da Terra, enquanto a outra é voltada para o centro do Sol.

Sobre a opção E:

De acordo com a Lei da Gravidade de Newton, todos os corpos, sejam eles planetas, estrelas, carros ou pessoas, atraem-se mutuamente. Por isso, a força da Terra sobre uma maçã e a força do Sol sobre um planeta apresentam a mesma origem, sendo ambas forças gravitacionais e calculadas pela clássica equação: $F = G.M.m/r^2$.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 5

Habilidade: 18

Comentário: O telescópio Hubble é um equipamento muito grande e, consequentemente, sua massa também é. Seu peso, na superfície da Terra, é grande, e, na órbita desta, é um pouco menor, pois o equipamento está mais distante da Terra. Esse peso, na verdade, é a força centrípeta que mantém o satélite em órbita, conforme afirmado pela alternativa D. Podemos estimar essa força (e ver que ela é grande). Supondo um telescópio de 1 tonelada (10^3 kg), considerando a constante de gravitação universal igual a 10^{-10} N.m²/kg² e a massa da Terra igual a 10^{24} kg, e sabendo que o raio orbital é a soma do raio da Terra, $6,4 \times 10^6$ m, e a altitude do telescópio, 560 km, ou seja, $0,56 \times 10^6$ m, temos:

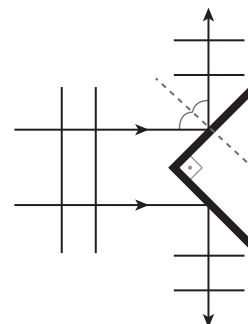
$$F = 10^{-10}.10^{24}.10^3/(6,4 \times 10^6 + 0,56 \times 10^6)^2 = 2,1 \times 10^3 \text{ N}$$

MÓDULO – C 09

Reflexão, refração e difração

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra C

Comentário: A figura mostra as ondas e os raios de onda incidentes e refletidos (em relação à normal – linha pontilhada). Veja que os ângulos de incidência e de reflexão são iguais.

Questão 02 – Letra E

Comentário: Observe na figura que, no intervalo de 1,5 s, a frente de onda do pulso se desloca da posição 9 m para a posição 15 m e, na volta, entre as posições 15 m e 3,0 m. Assim, ela percorre uma distância d = 6 + 12 = 18 m. A velocidade do pulso é v = d/t = 12 m/s.

Questão 03 – Letra D

Comentário: Na refração de uma onda, o comprimento de onda (λ) e o seno do ângulo do raio da onda com a normal (sen θ) são proporcionais. Logo, se o raio se aproxima da normal (diminui o ângulo), o comprimento de onda deve diminuir – o diagrama de Júlia está correto. Se o raio da onda se afasta da normal (aumenta o ângulo), o comprimento de onda deve aumentar – a figura de Clarice está correta, portanto, a alternativa correta é a D.

Questão 04 – Letra E

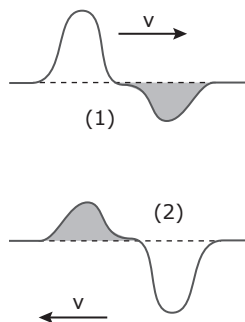
Comentário: A velocidade da luz na água é menor que no ar em consequência do maior índice de refração. A cor da radiação, entretanto, é caracterizada pela frequência. Como a frequência não se altera durante uma refração, a cor continua a mesma.

Questão 05 – Letra D

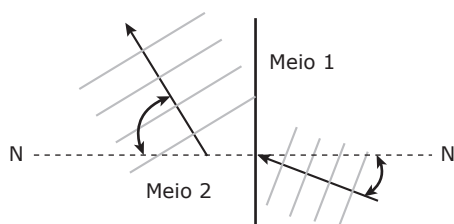
Comentário: Para que a difração da onda do mar seja bem acentuada e perceptível, é necessário que ela encontre obstáculos ou fendas de dimensões próximas ao comprimento de onda, que, no caso em questão, é de alguns metros (tamanho de um pequeno barco). Logo, não existe a difração em mar aberto e nem na entrada da Baía. Ao encontrar uma boia (alguns metros), a difração será bem visível.

Exercícios Propostos

Questão 03 – Letra D

Comentário: A onda reflete numa parede (extremidade fixa) e, por isso, vai sofrer inversão de fase. As figuras a seguir mostram as ondas incidente (1) e refletida (2). A parte da onda que chega à parede é formada por um vale com a forma mostrada, em destaque, pelo fundo cinza. A onda refletida tem, caminhando na frente, uma crista com o mesmo formato (veja o destaque cinza) do vale que chegou à parede.

Esse resultado é mostrado na figura da alternativa D.

Questão 05 – Letra D

Comentário: A onda na água, ao passar para uma região de maior profundidade, deve aumentar sua velocidade. A frequência dessa onda não altera. Dessa forma, o comprimento de onda (distância entre as cristas) deve aumentar e o raio da onda deve afastar da normal. A normal, na figura do exercício, é horizontal (perpendicular à superfície de separação entre os meios). A figura a seguir (igual à da alternativa D), procura mostrar a normal (linha pontilhada). Veja que o ângulo que o raio da onda forma com a normal é maior no meio 2.

Questão 06 – Letra C

Comentário: A frequência de uma onda pode ser calculada por f = v/λ. Assim, a frequência da onda no ar é:

$$f_{AR} = v/\lambda = 340/0{,}340 \Rightarrow f_{AR} = 1\ 000 \text{ Hz}$$

A frequência não altera se a onda muda de meio. Assim, a frequência no novo meio é 1 000 Hz. Dessa forma, o comprimento de onda (λ) será:

$$\lambda = v/f = 680/1\ 000 \Rightarrow \lambda = 0{,}680 \text{ m}$$

Ambos os resultados são apresentados na alternativa C.

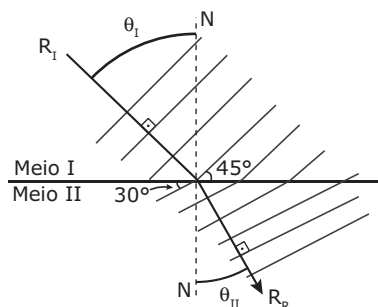
Questão 08 – Letra B

Comentário: A velocidade da onda na água depende da profundidade do recipiente (na região mais rasa, II, a velocidade é menor). No fenômeno da refração (mostrado na figura), entretanto, não existe alteração na frequência da onda. Dessa forma, apenas a observação de Rodrigo está correta.

Questão 09 – Letra B

Comentário: O aluno deve perceber que os ângulos dos raios da onda incidente (θ_I) e refratada (θ_{II}), com a normal, são congruentes aos ângulos que as cristas da onda formam com a superfície de separação nos meios I e II, respectivamente (veja a figura a seguir). A frequência da onda não se altera se ela muda de meio. Assim, a frequência no meio II será f = 10 Hz. Agora, usando a Lei de Snell, podemos calcular o comprimento de onda no meio II.

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \qquad \frac{\text{sen } 45°}{\text{sen } 30°} = \frac{\lambda_I}{\lambda_{II}}$$

$$\frac{\sqrt{2}/2}{0{,}5} = \frac{28}{\lambda_{II}} \qquad \lambda_{II} = \frac{28}{\sqrt{2}} \qquad \lambda_{II} = 20 \text{ cm}$$

A alternativa correta, portanto, é a B.

Questão 10 – Letra A

Comentário: Primeiro deve-se notar que a questão não aborda o aspecto de fases das ondas refletida e refratada, o que é comum em questões dessa natureza. Aqui se dá ênfase à velocidade das ondas, à distância percorrida por cada uma, ao comprimento de onda e à amplitude das ondas refletida e refratada em relação à amplitude da onda incidente.

A velocidade do pulso é menor na corda de maior densidade linear. Dessa forma, o pulso refratado terá menor velocidade e, assim, deve percorrer uma distância menor que o pulso refletido. A frequência da onda não se altera na reflexão e na refração. Logo, o comprimento de onda do pulso refratado será menor que o do pulso refletido. Por último é importante dizer que a energia do pulso incidente deve ser dividida entre o refletido e o refratado. Por isso, as amplitudes dos pulsos refletido e refratado devem ser menores que a amplitude do pulso incidente.

Questão 11 – Letra D

Comentário: A onda sonora apresenta comprimentos de onda bem maiores que os comprimentos de onda da luz. A ordem de grandeza do comprimento de onda do som corresponde às dimensões do muro e, dessa forma, o som sofre difração bem acentuada ao encontrar o muro e é capaz de atingir as pessoas que estão do outro lado. O mesmo não acontece com a luz que passa pela parte superior do muro sem sofrer difração perceptível. Assim, a alternativa correta é a D.

Questão 13 – Letra D

Comentário: Observe que a refração das ondas através da parede que separa a cozinha do quarto é desprezível. Assim, as pessoas podem conversar devido à reflexão na parede oposta e por causa da difração que ocorre na porta do quarto. Vale destacar que tais fenômenos fazem que o som gaste um tempo ligeiramente diferente entre as pessoas (a onda refletida desloca um percurso maior). Isso, porém, é totalmente desprezível.

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: IV

Competência de área: 5

Habilidade: 18

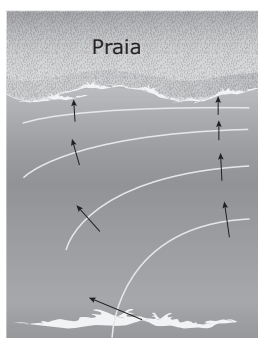
Comentário: A questão aborda a distância entre os órgãos do corpo. A onda emitida pelo dispositivo vai até cada órgão, sofre uma reflexão e retorna. Conhecendo a velocidade da onda e o tempo gasto para que ela vá até o órgão e retorne ao aparelho, é possível calcular a distância de cada órgão até o aparelho e, dessa forma, a distância entre eles.

Questão 02 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: A velocidade da onda na água depende da profundidade desta, sendo cada vez menor à medida que a profundidade diminui. Assim, profundidades diferentes equivalem a meios de propagação diferentes, de modo que a onda sofre refração à medida que se aproxima da praia. A figura a seguir mostra as velocidades de propagação das ondas em função da profundidade da água. Note que a parte da onda mais distante da praia apresenta maior velocidade e, por esta se deslocar mais rápido que a parte da onda próxima da praia, a onda tende a chegar à costa paralelamente à praia.

Questão 03 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 01

Habilidade: 1

Comentário: O texto descreve, de forma explícita, o fenômeno da difração (propriedade que permite que uma onda contorne obstáculos ou fendas que encontre durante a sua propagação). Assim, o mesmo fenômeno permite que uma pessoa possa ouvir o que outra diz do outro lado do muro (o som contorna tal obstáculo). Veja que as demais alternativas se referem, nessa ordem, à reflexão do som, à diferença de velocidades das ondas sonoras nos materiais, ao efeito Doppler-Fizeau e à ressonância.

Questão 04 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: Observe, pela figura da questão, que as velocidades das duas ondas variam com a profundidade em que elas estão se propagando e, dessa forma, as ondas sofrem refração nas diversas camadas que compõem a Terra. Portanto, a alternativa correta é a E.

MÓDULO – C 10

Interferência de ondas

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra C

Comentário: Decorrido 1,0 s, a onda terá percorrido 3,0 m. Assim, a crista da onda terá chegado à parede e o seu vale, após sofrer reflexão com inversão de fase (e se tornado uma crista), estará sobreposto à crista que chega. Dessa forma, a onda resultante estará representada na alternativa C, com o dobro da amplitude da onda inicial.

Questão 02 – Letra B

Comentário: Os pontos X e Y estão na superposição de duas cristas e dois vales, respectivamente. Logo, a amplitude da onda resultante será 2A. O ponto Z, por sua vez, está na superposição de uma crista e um vale. Assim, a amplitude será nula. Portanto, $A_X = A_Y > A_Z$.

Questão 03 – Letra D

Comentário: Para que a interferência seja construtiva, ou a diferença entre os percursos deve ser um número inteiro (N) de um comprimento de onda (λ), ou a diferença entre os tempos gastos deve ser um número inteiro (N) de um período (T) da onda. Deve-se focar a atenção dos alunos apenas na distância L (o restante do percurso será igual para as duas ondas).

A velocidade da onda 1 dentro do material é:

$V = c/n = c/1,5 = 2c/3$

Assim, o tempo gasto para as ondas 1 (t_1) e 2 (t_2) percorrem a distância L será:

$t_1 = L/V = L/(2c/3)$ e $t_2 = L/c \Rightarrow t_1 = 3t_2/2$

O período (T) da onda 2 (que é o mesmo nos dois meios) é $T = \lambda/c$.

Uma vez que $t_1 - t_2 = NT$ (condição de interferência construtiva), $3t_2/2 - t_2 = NT \Rightarrow t_2 = 2NT$. A distância L pode ser calculada por:

$L = c.t_2 = c.2NT = c.2N\lambda/c = 2N\lambda = 2N.500\text{ nm} = N.1000\text{ nm} \Rightarrow$

$L = 1\,000$ nm, $2\,000$ nm, $3\,000$ nm, ...

Questão 04 – Letra D

Comentário: A diferença de percursos das duas ondas é $\Delta L = 85 - 80 = 5,0$ cm. Para que a interferência seja destrutiva, essa diferença de caminhos deve ser igual a $\lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$, etc. Dessa forma, as ondas devem ter comprimentos de onda iguais a 10 cm, 3,3 cm, 2,0 cm, etc. Logo, a alternativa correta é a D.

Questão 05 – Letra A

Comentário: Na experiência de Young com a luz, as franjas claras de interferência construtiva estavam sempre espaçadas da mesma distância. Young demonstrou que o comprimento de onda da luz (λ) podia ser calculado por: $\lambda = \Delta x.d/L$. Nessa relação, Δx é a distância entre as franjas de interferência. Isso impõe que tal grandeza seja constante ao longo do anteparo para cada tipo de onda luminosa que estiver sendo usada. Assim, a alternativa correta é a A.

Exercícios Propostos

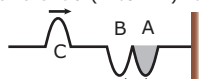
Questão 01 – Letra B

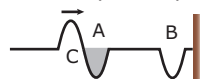
Comentário: A onda A, após a reflexão, volta com o formato de um vale, que vai gerar uma interferência destrutiva com a crista B. Após a superposição e a reflexão da onda B, cada pulso segue o seu caminho com as mesmas características iniciais de comprimento de onda, velocidade, frequência e amplitude, conforme afirma a alternativa B. Alerte o aluno para o fato de que a resposta exige a consideração de que a energia da onda seja mantida constante.

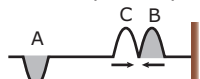
Questão 03 – Letra B

Comentário: A extremidade direita da corda está presa a uma parede, e, dessa forma, as ondas refletem com inversão de fase. Os pulsos incidentes são formados nesta ordem: crista, vale e crista. Logo, eles são refletidos como vale, crista e vale. As figuras a seguir, fora de escala, mostram as três interferências que se formam após cada pulso refletir na parede (os pulsos refletidos estão em destaque cinza).

1ª interferência (B com A): construtiva

C B A

2ª interferência (C com A): destrutiva

C A B

3ª interferência (C com B): construtiva

A C B

Dessa forma, a alternativa correta é a B.

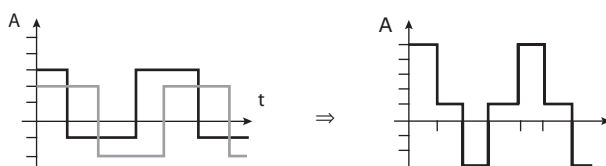
Questão 06 – Letra C

Comentário: O ponto inferior está na região ventral (alternativa A incorreta). O ponto superior está em uma linha nodal (alternativa B incorreta). A linha superior é, de fato, uma linha nodal (alternativa C correta), e a linha inferior está em uma região ventral e apresenta interferência construtiva (alternativa D incorreta).

Questão 08 – Letra B

Comentário: A figura mostra a difração e a interferência (alternativa B), respectivamente. Chame a atenção dos alunos para o fato de que, entre cada máximo projetado no anteparo C, existe uma interferência destrutiva com um mínimo de energia.

Questão 09 – Letra C

Comentário: Os deslocamentos dos pontos da onda resultante serão a soma ou a diferença entre os deslocamentos individuais de cada onda, se estes tiverem o mesmo sinal e sinais opostos, respectivamente. Assim, as figuras a seguir mostram cada uma das ondas e a onda resultante da superposição entre elas. Veja que a alternativa C é a resposta correta para esse exercício.

Questão 10 – Letra E

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

A) Errada. A interferência, sendo um fenômeno estritamente ondulatório, pode ocorrer com qualquer onda.

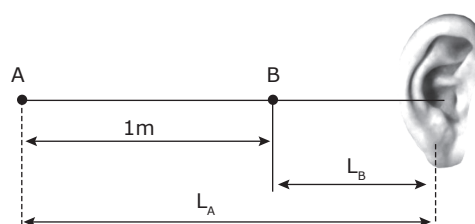
B) Errada. As linhas ventrais correspondem à interferência construtiva com o máximo de amplitude.

C) Errada. Chame a atenção dos alunos para o fato de que tal alternativa foi considerada incorreta, levando-se em consideração que Δx é a diferença de percurso entre as ondas, que n é um número ímpar, e que as ondas originais estão em fase. Caso contrário, a alternativa seria correta.

D) Errada. O fenômeno da interferência pode ser usado para demonstrar o caráter ondulatório da luz.

E) Correta. A situação indicada é possível, conforme ocorre nos dispositivos eletrônicos de supressão de ruídos. Como não existe dúvida quanto à veracidade dessa alternativa, justifica-se o fato de a alternativa B ser considerada incorreta.

Questão 12 – Letra C

Comentário: Veja, na figura a seguir, que a diferença de percursos das ondas até o ouvido é $\Delta L = L_A - L_B = 1$ m. O observador deixa de ouvir o som se a interferência for destrutiva. Para isto, devemos ter: $\Delta L = (n + 1/2)\lambda$. Para n = 0 (primeira interferência destrutiva) $\Rightarrow \lambda = 2$ m. Usando $f = v/\lambda$, temos: $f = 340/2 = 170$ Hz, ou seja, a resposta correta é a alternativa C.

Questão 13 – Letra B

Comentário: As fontes emitem ondas em oposição de fase (defasadas de meio período). A diferença de percursos das ondas das fontes até o ponto O é: $\Delta L = |L_1 - L_2| = 25 - 20 = 5,0$ m. O comprimento de onda das ondas sonoras é $\lambda = v/f = 340/170 = 2,0$ m. Como $\Delta L = 5,0$ m e $\lambda = 2,0$ m, a relação entre eles será:

$$\Delta L = (2 + 1/2)\lambda$$

Assim, a interferência será construtiva, e a frequência da onda sonora resultante será 170 Hz (a frequência não se altera na interferência de ondas).

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 22

Comentário: As ondas eletromagnéticas, que se propagam em trajetórias retilíneas em meios homogêneos, são refletidas pela ionosfera e conseguem, se tiverem energia suficiente, se deslocar do litoral à região amazônica. Logo, a alternativa correta é a A.

Questão 02 – Letra E

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 22

Comentário: Para que exista a citada interferência, é necessária a superposição das ondas emitidas pelas duas estações de rádio. Uma vez que apresentam a mesma frequência e a mesma velocidade de propagação, elas devem, também, apresentar os mesmos comprimentos de onda. Dessa forma, o aparelho de rádio vai transmitir as duas estações simultaneamente, gerando a interferência. Dessa discussão, conclui-se que a alternativa correta é a E.

Questão 03 – Letra E

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 22

Comentário: A luz não pode ser vista diretamente. Para se perceber um feixe luminoso, é necessária a existência de objetos capazes de refletir a luz até o sistema visual do observador. No caso da neblina, da poeira e outros, a luz é refletida (por reflexão difusa) pelos diversos elementos, o que promove o espalhamento daquela em todas as direções.

Questão 04 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 22

Comentário: Se as penas do pavão se apresentam pretas, quando iluminadas por qualquer radiação monocromática, é porque elas não possuem pigmentos coloridos, ou seja, elas são pretas.

Assim, as cores vistas na cauda do pavão, quando esta é iluminada com luz policromática, devem-se à interferência construtiva nas finas camadas existentes entre as plumas, que fornecem a cor de cada ponto da cauda. Como o espaçamento entre as plumas é variável, cada ponto apresenta uma interferência construtiva de uma determinada cor, portanto, a alternativa correta é a B.

MÓDULO – D 13

Cargas em movimento em campo magnético

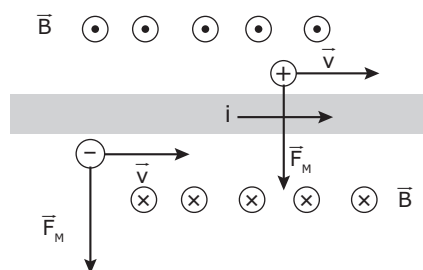
Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra A

Comentário: Uma partícula carregada L, independente do sinal de sua carga, que penetra perpendicularmente em um campo magnético, tem a direção da sua velocidade alterada pelo campo, o que a obriga a descrever uma trajetória curvilínea. A partícula K, por sua vez, penetra na mesma direção do campo magnético e, por isso, não recebe força magnética. Desse modo, a sua velocidade, levando-se consideração apenas o campo magnético, não se altera.

Questão 02 – Letra B

Comentário: A questão aborda a regra da mão direita e também a regra do tapa.

Veja a figura a seguir. Com a regra da mão direita, determinamos o sentido do campo magnético criado pela corrente elétrica na região acima e na região abaixo do fio. Observando a figura e utilizando a regra do tapa, obtemos a direção e o sentido da força magnética.

Questão 03 – Letra B

Comentário: A questão aborda o desvio de elétrons em um campo magnético de forma contextualizada e familiar aos alunos. É, porém, uma questão de índice de acerto muito baixo.

A força magnética é perpendicular ao movimento das cargas e ao campo magnético. Como as bobinas M e N continuam funcionando (e elas produzem campo na horizontal), os desvios dos elétrons serão apenas na direção vertical, portanto, a alternativa correta é B.

Você, professor, deve discutir a questão de forma detalhada e, se possível, desenhando separadamente as bobinas que produzem campo vertical e horizontal e os desvios que cada uma delas produz.

Questão 04 – Letra D

Comentário: Se o elétron (e) é abandonado no centro do espaço mostrado, a força elétrica (devida ao campo elétrico vertical para baixo) desvia a partícula para cima. Com tal movimento, a força magnética (devida ao campo magnético horizontal de norte para sul) passa a atuar sobre o elétron e o desvia para "fora" do plano da página (regra do tapa com as costas da mão). Isso leva o elétron para as proximidades de ponto D.

Questão 05 – Letra E

Comentário: Uma carga positiva, colocada em repouso dentro de um campo, é acelerada para a direita apenas no caso de o campo na região I ser elétrico e apontar nessa mesma direção e sentido ($+E_X$). Tal partícula, na região II, só pode descrever trajetória circular, no sentido indicado, devido a um campo magnético perpendicular à sua velocidade (eixo Z). De acordo com a regra do tapa, esse campo deve apontar para fora da página ($+B_Z$). Na região III, a trajetória é parabólica acelerada e desviada para a esquerda. Dessa forma, deve haver um campo elétrico que aponta para a esquerda ($-E_X$).

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra A

Comentário: A bússola vai apontar para uma direção ortogonal ao fio, seguindo a orientação do campo magnético gerado pela corrente. A esfera, embora esteja eletrizada, não sofre a ação do campo magnético, pois está em repouso.

Questão 04 – Letra C

Comentário: A corrente que passa no fio vai gerar um campo magnético perpendicular ao plano da folha e saindo desta. Assim, o elétron vai sofrer a ação de uma força magnética para a esquerda (regra do tapa com as costas da mão), ou seja, a alternativa C está correta.

Questão 06 – Letra E

Comentário: A figura da questão mostra que as duas partículas se deslocam em uma trajetória curvilínea sob a ação da força magnética. A trajetória II apresenta o menor raio de trajetória, que, de acordo com as regras do magnetismo, pode ser calculado por R = mv/(qB). Uma vez que a velocidade e o campo magnético têm módulos iguais para as duas partículas, a diferença no raio de trajetória deve ser atribuída às diferenças entre suas massas e / ou suas cargas, ou seja, a razão massa/carga deve ser diferente para as duas partículas. Isso torna as alternativas A, B, C e D incorretas. Dessa forma, o magnetismo não nos conduz à resposta, que deve ser obtida com base nos conhecimentos de Cinemática. A aceleração centrípeta pode ser calculada por $a_c = v^2/R$. Logo, a partícula de menor raio deve estar submetida à maior aceleração.

Questão 08 – Letra D

Comentário: Na resolução dessa questão, iremos considerar que os íons possuem cargas opostas de mesmo módulo. De acordo com o enunciado da questão, inicialmente, os íons movem-se em um plano, descrevendo trajetórias retilíneas e paralelas, com velocidades de mesmo módulo e mesmo sentido. Ao atravessarem uma região onde há um campo magnético uniforme e perpendicular ao plano de suas trajetórias retilíneas, os íons são desviados e passam a descrever trajetórias circulares com sentidos opostos, um em sentido horário e o outro em sentido anti-horário. Isso ocorre porque os íons se deslocam com velocidades de mesma direção e de mesmo sentido, mas possuem cargas de sinais opostos. Logo, de acordo com a regra do tapa, um dos íons será desviado em um sentido, e o outro íon será desviado em sentido oposto. Os raios das trajetórias circulares descritas pelos íons serão diferentes, uma vez que ambos estão sujeitos a forças magnéticas de mesmo módulo (os íons possuem cargas de mesmo módulo, velocidades iguais e estão sujeitos a um campo magnético uniforme de mesma intensidade), mas possuem massas diferentes. Assim, de acordo com a 2ª Lei de Newton, o íon de menor massa descreverá a trajetória circular de menor raio. Portanto, a alternativa correta é a D.

Questão 09 – Letra B

Comentário: A velocidade (v) com que a partícula deixa o campo elétrico e penetra no campo magnético pode ser calculada por:

$F_E = Eq$; como F = ma, temos que:

$$ma = Eq \Rightarrow a = \frac{Eq}{m}$$

Como $v^2 = v_0^2 + 2.ad$ e $V_0 = 0$,

$$v^2 = 2.a.d \Rightarrow v^2 = \frac{2Eqd}{m} \quad v = \left(\frac{2Eqd}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ ou } v = \sqrt{\frac{2Eqd}{m}}$$

Observação: O professor deve mostrar aos alunos que essa velocidade pode ser obtida mais facilmente usando-se a relação trabalho = variação da energia:

$$F_E d = \frac{1}{2}.mv^2 \quad Eqd = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v^2 = \frac{2Eqd}{m} \quad v = \left(\frac{2Eqd}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ ou } v = \sqrt{\frac{2Eqd}{m}}$$

O raio da trajetória descrita pela partícula é:

$$R = \frac{mv}{qB} \quad R = M\frac{\left(\frac{2Eqd}{m}\right)^{\frac{1}{2}}}{qB}$$

$$R = \left(\frac{2Edm}{qB^2}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ ou } R = \sqrt{\frac{2Edm}{qB^2}}$$

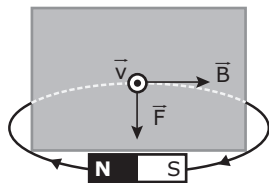
Questão 10 – Letra B

Comentário: Quando a carga positiva é colocada no ponto P, atua sobre ela, no primeiro momento, apenas a força de origem elétrica. Essa força, que possui sentido da placa positiva para a placa negativa, faz com que a partícula comece a se deslocar para cima. A partir do momento em que a carga adquire velocidade para cima, o campo magnético passa a atuar sobre ela, exercendo uma força magnética que a desloca, a partir desse instante, para a esquerda (regra do tapa com a palma da mão). Assim, ela sobe e desloca para a esquerda, simultaneamente, originando a trajetória mostrada na alternativa B.

Questão 14 – Letra C

Comentário: Os íons positivos e os elétrons do feixe são defletidos pela ação do campo magnético do ímã, na direção dos eletrodos coletores I e III, respectivamente (regra do tapa com a mão direita e com as costas da mão, para cada um deles). Dessa forma, os eletrodos I e III ficam em um potencial positivo e negativo, respectivamente. Assim, $V_I > V_{III}$, ou seja, a alternativa C é a resposta correta.

Questão 15 – Letra B

Comentário: A figura a seguir mostra a tela da TV vista de frente. A direção da velocidade dos elétrons é perpendicular à folha de papel, saindo desta, e os elétrons sofrem a ação de uma força magnética para baixo (que os desloca nesse sentido). Pela regra do tapa (com as costas da mão), o campo magnético entre a tela e o canhão que emite os elétrons (no interior da TV) deve ser no sentido indicado na figura. Assim, o ímã deve ser colocado na horizontal (em relação à TV) com a polaridade indicada, de modo que o seu campo magnético, no interior do aparelho, desloque os elétrons para baixo, conforme mostrado na alternativa B.

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: A recomendação de não se abrir o gabinete e de não tocar em peças em seu interior pretende garantir a segurança da pessoa que manuseia o aparelho. Com o aparelho ligado, correntes elevadas percorrem os circuitos interiores. Com ele desligado, existe carga armazenada em circuitos capacitivos do dispositivo. Em ambos os casos, o operador pode estar sujeito a uma descarga elétrica perigosa. O fato de se evitar que o aparelho fique próximo a outros aparelhos elétricos ou a ímãs deve-se aos campos magnéticos gerados por esses elementos, que podem distorcer as imagens e danificar, permanentemente, o tubo de imagem da televisão.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: A maioria das partículas emanadas pelo Sol, que atingem a magnetosfera, incide sobre esta obliquamente ao campo magnético terrestre. Dessa forma, as partículas são desviadas e passam a descrever um movimento helicoidal para os polos e para fora da magnetosfera. Com a diminuição da intensidade do campo, a intensidade da força magnética (que é proporcional à intensidade do campo) diminui, reduzindo, assim, os desvios sofridos por essas partículas.

MÓDULO – D 14

Força magnética sobre fios

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra B

Comentário: Um condutor, de comprimento L e percorrido por uma corrente I, imerso perpendicularmente em um campo magnético B, recebe a ação de uma força magnética dada por: F = B.I.L. Assim, apenas a componente B_z do campo atua sobre o condutor. A força por unidade de comprimento será: F = B.I.L/L = B.I

$F = 5 \times 10^{-5} \times 5\,000 = 0{,}25$ N/m

Questão 02 – Letra D

Comentário: Os resistores estão em paralelo. Assim, a corrente I (que percorre o circuito e o fio superior esquerdo) se divide em I/2 para cada um dos resistores do circuito. Logo, as correntes que percorrem os fios I, II e III são, respectivamente, I, I/2 e I/2. Observe que, no circuito mostrado, os fios citados têm o mesmo comprimento L. Como a força exercida por um campo magnético B sobre fios de mesmo comprimento é proporcional à corrente elétrica que os percorre, temos que $F_I > F_{II} = F_{III}$.

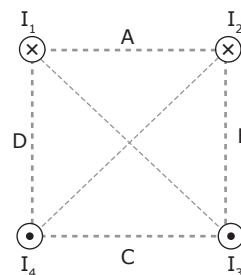
Questão 03 – Letra D

Comentário: O campo elétrico externo não atua sobre as cargas da corrente elétrica, pois o fio, sendo condutor, cria uma blindagem eletrostática para tal campo. Assim, a única força que atua no condutor é a força magnética, que, nesse caso e de acordo com a regra do tapa, deve estar no plano da folha e apontado para a esquerda. Professor, lembre aos seus alunos que não tem sentido dizer que o campo magnético é maior que o campo elétrico. Como são grandezas diferentes, não existe a comparação de "maior ou menor" entre eles.

Questão 04 – Letra A

Comentário: O exercício mostra o princípio básico de funcionamento de um motor elétrico ou de um galvanômetro. O campo magnético do ímã está no plano da folha e apontando para o topo dela. A corrente elétrica percorre o fio de cima (perto do polo sul) para a esquerda, e o fio de baixo (perto do polo norte) para a direita. Assim, as forças magnéticas, de acordo com a regra do tapa, atuam nos fios superior e inferior, respectivamente, para dentro e para fora da folha de papel. Logo, a espira tende a girar em torno do eixo X, no sentido de Y para Z. Assim, alternativa A é a correta.

Questão 05 – Letra A

Comentário: Observe, na figura a seguir, os fios 1, 2, 3 e 4 vistos perpendicularmente no sentido da corrente no fio 1, as regiões A, B, C e D e o sentido de cada uma dessas correntes. Fios percorridos por correntes de mesmo sentido e de sentidos opostos se atraem e se repelem, respectivamente.

Veja que os fios 1 e 2 e os fios 3 e 4 irão se atrair. Dessa forma, os fios 1, 2 3 e 4 tendem a se deslocar, respectivamente, para as regiões A, A, C e C. A mesma resposta poderia ser justificada usando-se a repulsão entre os fios de correntes opostas.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra B

Comentário: Para que a força magnética atue, é necessário que as cargas estejam em movimento. Tal força não depende da massa das partículas, e sim de suas cargas.

Questão 02 – Letra C

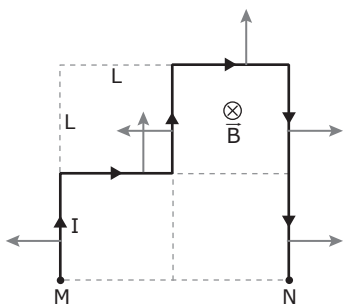
Comentário: A força magnética sobre o condutor (que forma um ângulo de 90° com as linhas de indução) pode ser calculada por F = B.I.L. Assim, temos:

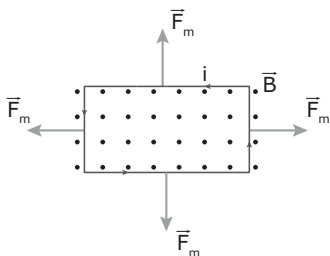
$$F = 0{,}01.5.0{,}10 \Rightarrow F = 5{,}0 \times 10^{-3}\ N$$

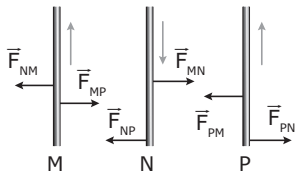
Esse resultado é expresso pela alternativa C.

Questão 05 – Letra B

Comentário: As forças magnéticas que atuam em cada elemento do fio estão representadas pelas setas em cinza na figura a seguir.

Observe que as forças horizontais se anulam. Dessa forma, apenas as forças verticais compõem a resultante. Cada uma delas pode ser calculada por F = B.I.L. Logo, a força resultante será F_R = 2B.I.L, como expresso pela alternativa B.

Questão 07 – Letra B

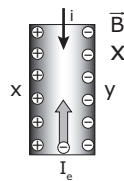
Comentário: Usando a regra do tapa, percebemos que as forças magnéticas ($\vec{F}_M$) que atuam em cada lado da espira fornecem uma resultante igual a zero. Observe, na figura a seguir, que o torque total (momento das forças) aplicado à espira também é nulo. Esses resultados são encontrados na alternativa B.

Questão 10 – Letra B

Comentário: A única configuração que permite resultante nula sobre cada um dos fios está mostrada na alternativa B. Veja, na figura a seguir, o sentido das forças magnéticas sobre cada fio. Lembre-se de que correntes elétricas de mesmo sentido se atraem, enquanto as de sentidos opostos se repelem.

Observação: A relação entre os valores das correntes nos fios deve ser única para que o equilíbrio de todos os fios seja possível. As forças entre os fios podem ser determinadas pela relação $F \propto I_1I_2/d$. Como a distância entre M e P é o dobro da distância entre M e N e entre N e P, o produto I_MI_P deve ser o dobro dos outros dois. Assim, as correntes guardam a seguinte relação $I_M = I_P = 2I_N$.

Questão 11 – Letra D

Comentário: Para que o ponteiro possa girar, o campo magnético do ímã exerce força magnética sobre as cargas que percorrem a bobina do aparelho (corrente elétrica no seu enrolamento). A leitura será possível quando o torque exercido pela força magnética for anulado pelo torque exercido pela mola. Dessa forma, esses torques devem ter valores iguais, conforme afirmado na alternativa D.

Questão 13 – Letra B

Comentário: A figura a seguir mostra a lâmina metálica vista por cima (do polo norte para o sul). Os elétrons se movimentam (I_e) em sentido contrário à corrente convencional (i) e recebem uma força magnética (de acordo com a regra do tapa), conforme mostrado. Assim, as extremidades x e y ficam com falta e excesso de elétrons, respectivamente. Dessa forma, $V_x > V_y$, como expresso pela alternativa B.

Questão 14 – Letra A

Comentário: O exercício mostra um exemplo da aplicação do efeito Hall, citado na Leitura complementar do Caderno Principal. O aluno deve perceber que o campo elétrico, sendo para a direita, faz com que os elétrons se desloquem para a esquerda. Observe que o enunciado faz referência ao "movimento de elétrons". Não se pode usar o movimento de cargas positivas (corrente convencional) para a solução do exercício. Para que os elétrons, que se movimentam para a esquerda, sejam deslocados para a parte de baixo da placa, é necessário que um campo magnético perpendicular à placa e de sentido para cima (regra do tapa com as costas da mão) atue sobre ela, o que faz da figura da alternativa A a correta.

Questão 16 – Letra D

Comentário: Os fios das figuras 1 e 2 estão em série e em paralelo, respectivamente. Na montagem 1, os fios são percorridos por correntes de sentidos opostos e, por isso, haverá repulsão entre eles. Na montagem 2, os fios são percorridos por correntes de mesmo sentido e haverá atração entre eles, esse resultado é mostrado na figura da alternativa D.

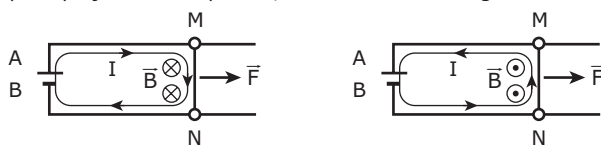
Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: As figuras a seguir mostram, de forma simplificada, a corrente (I), os campos magnéticos ($\vec{B}$) gerados pela corrente nos trilhos e a força magnética ($\vec{F}$) que atua na haste que leva o projétil. Observe que a força magnética tem sempre o mesmo sentido (oposto à posição da fonte de alimentação), independentemente do sentido de polaridade da bateria. Assim, a corrente pode ser contínua (de qualquer polaridade) ou alternada, e o campo magnético deve ser sempre perpendicular à haste em que o projétil será disparado, conforme o texto original.

Observação: A explicação também pode ser dada levando-se em conta que as correntes que percorrem a haste e a fonte têm sentidos opostos e, por isso, repelem um ao outro.

Questão 02 – Letra C

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 2

Habilidade: 5

Comentário: Considere um dos fios da bobina na posição inferior. Ele recebe uma força magnética que tende a girá-lo em um determinado sentido. Quando esse fio chegar à posição superior, a corrente elétrica que o percorre, se o fio estivesse todo desencapado, teria o mesmo sentido. Isso provocaria um torque oposto ao anterior, que tenderia a parar a bobina. Dessa forma, raspa-se apenas a metade do fio, de modo que não exista torque oposto ao inicial, uma vez que, quando a parte isolada do fio está em contato com o arame, não existe corrente na bobina.

MÓDULO – D 15

Indução eletromagnética e transformadores

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Soma = 31

Comentário:

01. Verdadeiro. Isso é expresso numericamente pela Lei de Faraday-Lenz.
02. Verdadeiro. Se há movimento entre os dois objetos, de afastamento ou aproximação, haverá variação do fluxo magnético que atravessa a espira e com isso surgirá uma corrente induzida. Repare que um movimento de giro do ímã não produz essa corrente pois nesse caso, por mais que o ímã esteja em movimento, em relação à espira ele não se aproxima ou afasta.
04. Verdadeiro. Esse é o enunciado da Lei de Lenz.
08. Verdadeiro. Isso é expresso numericamente pela Lei de Faraday-Lenz.
16. Verdadeiro. A corrente elétrica produzida tem o sentido convencional (sentido dos portadores de cargas positivos) por isso ambas (corrente e f.e.m.) terão o mesmo sentido.

Questão 02 – Letra C

Comentário: Na segunda variação, não há variação de fluxo e logo não há corrente induzida. No primeiro caso há um aumento do fluxo entrando, e logo a corrente induzida gerará um fluxo saindo, o que pela regra da mão direita gera corrente no sentido anti-horário. Analogamente, a corrente em 3 é no sentido horário.

Questão 03 – Letra C

Comentário: As usinas geradoras de energia elétrica produzem corrente alternada que permite, através de um transformador (o qual apenas funciona se alimentarmos a bobina do seu primário com uma tensão alternada), elevar a tensão e, assim, diminuir a corrente elétrica. Isso ocorre porque o produto V.I é constante (para aparelhos ideais), o que ocasiona uma diminuição da corrente I, devido ao aumento da tensão V. Essa diminuição da corrente reduz as perdas de energia por efeito Joule nas linhas de transmissão.

Questão 04 – Letra D

Comentário: O exercício mostra uma aplicação interessante das correntes de Foucault. Uma vez que os dois pêndulos entram e saem de uma região na qual existe um campo magnético, aparecem correntes induzidas no anel e no disco. No disco metálico, entretanto, surgem correntes em diversos caminhos e, assim, a força de frenagem eletromagnética será muito mais intensa, fazendo com que ele pare mais rapidamente, como previsto pela alternativa D.

Questão 05

Comentário:

A) A tensão primária é do tipo alternada. Quando essa tensão é aplicada em um dos lados da peça de ferro, ela induz uma corrente elétrica alternada em toda a peça. Do lado oposto, essa corrente, por ser alternada, causará uma variação do fluxo magnético que atravessa as espiras secundárias, resultando dessa forma em uma f.e.m, ou tensão secundária. O número de bobinas pode ser implementado de modo que a tensão secundária tenha um valor maior ou menor que a tensão primária.

B) Zero. Para que um transformador funcione corretamente é necessário que haja uma variação do fluxo magnético nas espiras secundárias. Isso ocorre naturalmente quando a tensão primária é do tipo alternada, porém para uma bateria, cuja tensão é constante, o fluxo em ambos os lados será constante e portanto a tensão elétrica induzida em todas as espiras de ambos os lados será zero.

C) A resolução dessa questão pode ser feita da forma apresentada pelo gabarito ou utilizando a equação de forma mais direta:

$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 \qquad V_2 = \frac{400}{800}.120 = 60\,V$$

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra E

Comentário: Como há variação do fluxo magnético, há a presença de uma corrente elétrica induzida, que gera um polo sul no lado esquerdo da espira, gerando repulsão entre esta e o ímã, de acordo com a Lei de Lenz.

Questão 02 – Letra C

Comentário: A corrente que percorre o circuito cria um campo magnético perpendicular ao plano da espira. Assim, o fluxo magnético na espira é diferente de zero e constante. Se a espira for deslocada de P a Q, o fluxo continua o mesmo e não surge corrente induzida. Haverá variação do fluxo magnético e, dessa forma, corrente induzida na espira nas seguintes situações:

A) Girar a espira em torno do fio que a sustenta (variação do ângulo entre a espira e o campo).

B) Variar a resistência do reostato (varia a corrente no circuito e o valor do campo que atravessa a espira).

D) Afastar a espira do circuito (varia o campo que atravessa a espira).

Questão 03 – Letra B

Comentário: A corrente alternada, sendo variável, produz campo magnético variável no tempo e, dessa forma, o fluxo magnético através do circuito pode variar e gerar corrente induzida. No circuito II, haverá corrente induzida, uma vez que o campo da corrente que percorre o fio é perpendicular à espira. No circuito I, entretanto, não haverá corrente induzida, pois o campo magnético da corrente que percorre o fio é paralelo à espira, e o fluxo magnético, através dela, será sempre nulo.

Questão 04 – Letra B

Comentário: O fluxo magnético é dado por: $= BA\cos\theta$.

Dessa forma:

$$\frac{}{t} = \frac{B}{t} A\cos\theta = 0{,}5\frac{\sqrt{3}}{2}A.$$

Como $\frac{}{t} = \frac{B}{t} A\cos\theta = 0{,}5\frac{\sqrt{3}}{2}A$, em módulo,

$$\varepsilon_I = 10.0{,}5\frac{\sqrt{3}}{2}A = \frac{5\sqrt{3}A}{2}.$$

Questão 05 – Letra B

Comentário: A corrente elétrica que passa pelo circuito que contém a pilha é constante (campo e fluxo magnético invariáveis através do circuito que contém o amperímetro). Assim, com o interruptor ligado ou desligado, não haverá corrente induzida no circuito do amperímetro. Entretanto, no instante em que o interruptor é ligado, haverá corrente induzida, pois o fluxo que era nulo deixará de ser. O mesmo acontece quando o interruptor é desligado (o fluxo que era constante cai para zero). Assim, correntes induzidas momentâneas de sentidos opostos aparecem no circuito nos instantes em que o interruptor é ligado ou desligado, conforme mostrado pelo gráfico da alternativa B.

Questão 08 – Letra C

Comentário: Enquanto a haste AB se deslocar para a direita, o fluxo magnético através do circuito fechado estará aumentando. Dessa forma, surge uma corrente induzida, fonte de um campo magnético induzido, que tende a contrariar o aumento de fluxo. Assim, o campo induzido será oposto ao campo indutor e apontará para baixo na figura. Usando a regra da mão direita (com o dedão no sentido do campo induzido), percebemos que a corrente induzida será no sentido horário. Uma vez que a haste se move com velocidade constante, a variação temporal de fluxo será constante. Isso garante que a corrente induzida será, também, constante. Esses resultados são mostrados na alternativa C.

Questão 10 – Letra B

Comentário: A barra se desloca para cima e, dessa forma, os elétrons livres se movimentam para cima. Para que exista um acúmulo de elétrons em A, eles devem receber uma força, magnética ou elétrica, para a esquerda. Na presença de campo magnético saindo da folha (regra do tapa com a costas da mão) ou campo elétrico no sentido de A para B (força oposta ao campo), os elétrons sofrem deslocamento, em relação ao fio, para a esquerda. Isso justificaria a concentração de elétrons em A.

Questão 11 – Letra C

Comentário: Quando o aro entra e, depois, quando sai da região de campo magnético, há uma variação de fluxo magnético através do aro. Dessa forma, surge corrente elétrica induzida. Devido a essa corrente, o aro recebe uma força magnética que se opõe ao movimento (frenagem eletromagnética). Essa força, sendo oposta ao movimento, faz com que o tempo de queda do aro seja maior do que o tempo para se chegar à base, caso o campo não exista.

Observação: Professor, reforce com os alunos que não existe a necessidade de representar o sentido da a corrente induzida (e nem a força que se opõe ao movimento) para a solução da questão. Entretanto, por objetivos pedagógicos, convém mostrar tais forças (lembre-se de que a força magnética só atua na parte do aro que se encontra dentro da região do campo, tanto na entrada quanto na saída do anel).

Questão 13 – Letra C

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

A) Incorreto. A energia por unidade de tempo emitida pela lâmpada aumenta com a velocidade de rotação do dínamo.

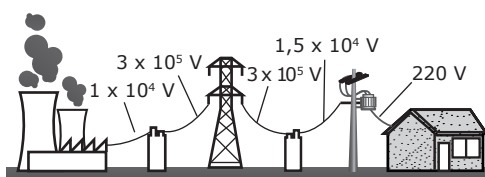
B) Incorreto. No instante mostrado, o fluxo magnético na bobina fixa está diminuindo. De acordo com a Lei de Lenz, a corrente elétrica induzida deve criar um campo magnético no mesmo sentido do campo externo (que é voltado para a esquerda). Assim, o campo magnético resultante terá o seu valor reforçado pelo campo da corrente induzida, de maneira a minimizar a redução que está ocorrendo com o fluxo magnético. Para o campo magnético da corrente induzida ser voltado para a esquerda, essa corrente deve, de acordo com a regra da mão direita, percorrer a lâmpada de P para Q (da esquerda para a direita). Observe que esse sentido da corrente induzida faz com que o campo magnético gerado por ela seja voltado para a esquerda, tanto na bobina que se acha à esquerda quanto na que está à direita do ímã.

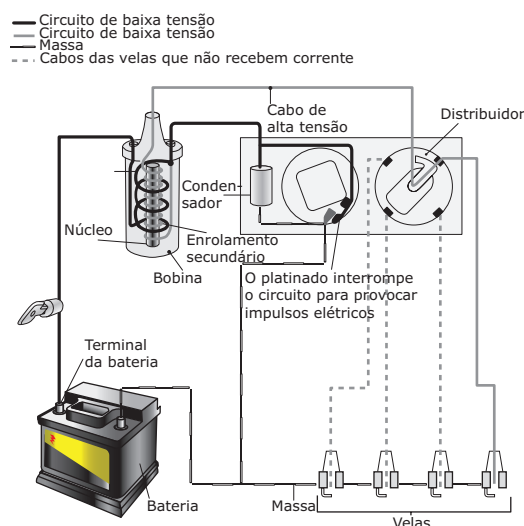
C) Correto. De acordo com a Lei de Faraday, a tensão induzida em uma bobina é causada pela variação do fluxo magnético na bobina. Por outro lado, de acordo com o Princípio da Conservação da Energia, a energia elétrica gerada provém de uma energia mais primitiva. No caso desse problema, e de muitos outros, a produção de energia elétrica através da indução eletromagnética decorre de um trabalho mecânico. Esse trabalho é a energia primitiva, que proporciona o movimento do rotor e a variação do fluxo magnético.

D) Incorreto. As velocidades tangenciais na periferia do eixo do rotor e da periferia do pneu são iguais, da mesma forma que as velocidades tangenciais nas periferias de duas polias ou de duas engrenagens acopladas também são iguais. De acordo com a equação $v = \omega R$ (v é a velocidade tangencial, ω é a velocidade angular, e R é o raio), como v é constante e como o raio do eixo do rotor é muito menor do que o raio do pneu, a velocidade angular do rotor é muito maior do que a velocidade angular do pneu. Isso permite ao ímã girar com uma velocidade angular alta. O resultado é a ocorrência de uma significativa taxa de variação do fluxo magnético na bobina. Por isso, a corrente induzida é suficiente para fazer a lâmpada brilhar.

Questão 14 – Letra D

Comentário: Vamos pensar em uma tensão elétrica, na saída de uma usina de eletricidade, igual a $V = 10$ kV (valor típico) e uma potência gerada $P = 1\,000$ MW (também um valor típico). Usando a expressão $P = V.I$, podemos achar a corrente elétrica $I = 10\,000$ A. Essa corrente é enorme e, se fosse transportada pela linha de transmissão, através de cabos padrões, a perda de energia por efeito Joule seria muito grande. Por isso, na saída de uma usina de eletricidade, existe um transformador de alta tensão, que

aumenta em muitas vezes o valor da tensão elétrica, de forma que no produto V.I, que é constante (Princípio da Conservação da Energia), o aumento de V é acompanhado de uma diminuição de I na razão inversa. O aumento de V pode ser de 10 vezes, de 20 vezes ou ainda maior. Nas linhas de transmissão com milhares de quilômetros de extensão, como as linhas da usina de Três Gargantas, na China, a tensão na linha é próxima de 10^3 kV. Para aumentar V, o transformador de alta deve ter um número de espiras no enrolamento secundário maior do que o número de espiras no enrolamento primário. Assim, devemos ter $N_B > N_A$. Próximo às cidades, por razões de segurança, a tensão é reduzida. Assim, um transformador de baixa é usado. Nele, o número de espiras no enrolamento secundário deve ser menor que o número de espiras no enrolamento primário. Assim, devemos ter $N_C > N_D$. Na verdade, há dois transformadores na cidade. Um fica nas imediações da cidade, que abaixa a tensão para valores ainda perigosos para serem utilizados diretamente nas casas, e o outro é o transformador que vemos nos postes de ruas, que abaixa a tensão para os valores típicos de 127 V ou 220 V. A figura a seguir mostra uma sequência de transformações típicas da tensão elétrica, desde a sua geração até o consumo nas casas. Com base nos argumentos apresentados, conclui-se que a alternativa correta é a D.

Questão 17 – Letra C

Comentário: No sistema de ignição do motor de um carro, a tensão da bateria é aumentada de 12 volts para vários milhares de volts através de um transformador, conhecido por bobina, em que há dois enrolamentos, o primário, que é ligado à bateria, e o secundário, que alimenta as velas dentro dos cilindros do motor. Embora a tensão da bateria seja contínua e constante, a interrupção súbita da corrente da bateria permite uma variação do fluxo magnético dentro do transformador. Por isso, há uma tensão muito alta induzida na saída do transformador. Essa tensão aparece entre os terminais dos eletrodos das velas. Como essa tensão é muito alta, e como os eletrodos da vela apresentam uma pequena separação, a rigidez dielétrica da mistura ar / combustível no interior do cilindro é rompida. Assim, uma faísca salta entre os eletrodos, causando a explosão do combustível. A figura a seguir mostra o esquema de um sistema de ignição de um motor automotivo de quatro cilindros. Nesse sistema (antigo), a interrupção da corrente é feita por meio de um interruptor mecânico (o platinado).

Questão 18 – Letra A

Comentário: A força eletromotriz induzida em uma espira é a taxa de variação do fluxo magnético na espira, ou seja, a f.e.m. é dada pela inclinação da curva do fluxo magnético em função do tempo. Nesse exercício, como a espira está fixa e imersa em um campo magnético variável, a taxa de variação do fluxo é proporcional à taxa de variação do campo magnético. A inclinação do gráfico do campo *versus* o tempo fornece, portanto, o aspecto do gráfico da força eletromotriz em função do tempo. Analisando o gráfico dado, vemos que há duas inclinações constantes no gráfico temporal do campo, a primeira positiva, de 0 a t', e a outra negativa, de t' a t''. Essas inclinações correspondem aos valores representados no gráfico da alternativa A.

Questão 21

Comentário:

A) Para determinar a relação entre o número de espiras no enrolamento primário e no secundário 2 vamos usar a equação $N_p/N_s = V_p/V_s$. Portanto, a relação entre o número de espiras dos enrolamentos é dada por:

$$N_p/N_s = 8\ 800/220 = 40$$

B) De acordo com o Princípio da Conservação da Energia, temos:

$$P_p = P_{S_1} + P_{S_2}$$

Usando a equação P = VI para calcular as potências nos secundários, e lembrando que a potência de entrada no primário é $P_p = 81\ 000$ W, que a corrente elétrica no secundário 2 é $I_2 = 150$ A, e que as f.e.m induzidas nos dois secundários são $V_{S_1} = 120$ V e $V_{S_2} = 220$ V, obtemos a seguinte corrente elétrica I_1 no secundário 1:

$$81\ 000 = 120I_1 + 220.150 \Rightarrow I_1 = 400 \text{ A}$$

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 3

Habilidade: 12

Comentário: O elemento comum aos processos de geração de energia citados está no fato de que todos eles usam fontes renováveis de energia.

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: O caminhar transforma a energia potencial das molas em energia cinética. Assim, haverá variação do fluxo magnético, o que proporciona o aparecimento de energia elétrica induzida.

Questão 03 – Letra C

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: Para que seja induzida uma corrente elétrica no cérebro, é necessário que ocorra uma variação temporal do fluxo magnético através dos tecidos, sendo a corrente induzida proporcional à taxa de variação desse fluxo. Considerando que o número de espiras e a área das bobinas sejam constantes e que o tempo de variação seja sempre o mesmo, a corrente induzida será tanto maior quanto maior for a variação do campo gerado pelas bobinas. Tal campo será tanto maior quanto maior for a corrente elétrica que circula pelas bobinas. Assim, dentre as alternativas apresentadas, a resposta certa é a C.

Questão 04 – Letra E

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: Para que exista uma corrente induzida capaz de acender a lâmpada, é necessário que ocorra uma variação temporal do fluxo magnético através da bobina. Uma vez que o dínamo da bicicleta apresenta bobina com área e número de espiras constantes, a variação do campo magnético através da bobina é responsável pela variação do fluxo magnético.

Portanto, a alternativa correta é a E.

Questão 05 – Letra E

Eixo cognitivo: V

Competência de área: 1

Habilidade: 4

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

A) Aumentar a quantidade de combustível para queima na usina de força aumentará a potência gerada na usina, mas não o seu rendimento térmico. Este, de acordo com os conceitos da Termodinâmica, depende da temperatura de queima do combustível. Quanto maior for essa temperatura, maior será o rendimento térmico da usina.

B) O certo seria utilizar lâmpadas frias, como as lâmpadas fluorescentes, e não lâmpadas incandescentes, que apresentam um rendimento muito baixo.

C) Diminuir o número de aparelhos irá reduzir a energia consumida, mas não a eficiência do processo.

D) Utilizar cabos com menor diâmetro nas linhas de transmissão fará a resistência elétrica da linha ficar maior. O resultado é o aumento da perda por efeito Joule nos cabos, reduzindo o rendimento do processo.

E) Utilizar materiais com melhores propriedades condutoras nas linhas de transmissão irá diminuir a resistência elétrica na linha, diminuindo as perdas por efeito Joule. Lâmpadas fluorescentes também irão melhorar o rendimento do sistema, pois essas lâmpadas produzem mais luz e menos calor que as lâmpadas incandescentes.

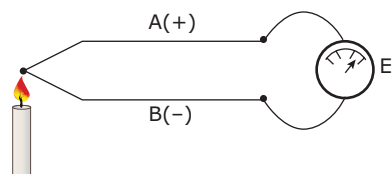
Questão 06 – Letra A

Eixo cognitivo: IV

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: Em qualquer processo, fenômeno ou dispositivo (físico, químico ou biológico), a energia se conserva. Mesmo em um transformador elétrico real, no qual nem toda a energia elétrica no primário se converte em energia elétrica no secundário, há conservação da energia, pois a parcela de energia elétrica "perdida" no processo, na verdade, se converteu em outras formas de energia que não são elétricas, como a energia térmica e a energia sonora. Nos grandes transformadores, além de esquentarem um pouco, também é possível ouvir um ruído emitido durante o seu funcionamento.

Nesse exercício, outro dispositivo que merece atenção especial é o termopar, um tipo de termômetro muito usado na aquisição de medidas na indústria e em pesquisa. Um termopar simples é constituído de dois fios A e B, feitos de metais diferentes e soldados em duas extremidades (em uma delas fica o bulbo do termômetro). As outras extremidades são ligadas em um voltímetro (a escala do termômetro). Quando o bulbo é submetido a uma temperatura diferente daquela das extremidades ligadas ao voltímetro, observa-se o aparecimento de uma d.d.p. entre os dois pares. Esse fenômeno é conhecido como efeito Seebeck, observado pela primeira vez em 1821 pelo físico Thomas Jhoann Seebeck. Assim, em um termopar, a energia térmica é transformada em energia elétrica.

Questão 07 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: Observe, pelo texto do manual, que o captador funciona com base na indução eletromagnética, de forma que uma corrente elétrica induzida percorre a bobina. A corda de uma guitarra é de aço (por ser uma substância ferromagnética, o material apresenta uma elevada capacidade de magnetização), e o náilon não é material ferromagnético, de maneira que a magnetização deste, provocada pelo ímã, é desprezível. Dessa forma, nenhuma corrente percorre a bobina do captador e o aparelho não funciona.